

**A K-049604 számú, „Nem-konvencionális geoelektromos elrendezések” című  
OTKA pályázat (2005-2008) szakmai zárójelentése  
(Szalai Sándor, Szarka László, Novák Attila, Varga Mihály)**

A K-049604 számú OTKA zárójelentését úgy építettük fel, hogy abban pontonként végigmegyünk a vállalt feladatokon, és leírjuk, mit sikerült azokból teljesíteni, és hogy mely publikációk kapcsolódnak az adott ponthoz. Az egyes pontokhoz kapcsolódó minden összes publikációt felsoroljuk, illusztrálendő, hogy az adott eredmények megjelentek-e cikk formájában, illetve, hogy milyen nemzetközi és/vagy hazai szakmai fórumokon mutattuk be. Amennyiben valamely témakörből publikáció is született, ott az eredményeket nem részleteztük, ábrákat nem közöltünk, szemben azokkal a pontokkal, amelyek esetében még nyilvánosan hozzáférhető publikációk nem születtek.

A pontonkénti önértékelést követően az átláthatóság kedvéért még egyszer megadjuk a jelen OTKA pályázathoz kötődő összes publikációt.

## **A.) Null elrendezések**

### **I.) Egyenáramú null elrendezések**

*Vállalás AI/1.): Az összes – elméletében eltérő és gyakorlatban alkalmazható – felszíni egyenáramú elrendezés rendszerezése*

**Összeszedtük és rendszereztük az összes – az angol és orosz nyelvű szakirodalomban fellelhető – felszíni egyenáramú elrendezést.** Egységes jelölésrendszert alkalmaztunk és az elrendezéseket 3 fő kritérium szerint 8 csoportba soroltuk. A legegyszerűbb és egyben leggyakrabban alkalmazott lineáris, nem-kombinált, nem-fókuszált elrendezésekről elméletileg is teljes képet adtunk. Levezettük egyes elrendezések származástani kapcsolatát, új elrendezések konstruálásával kitöltöttük az egyes csoportokban maradó lyukakat és szétválasztottuk egymástól az eddig egységesen „array”-nek nevezett elektróda konfigurációkat elektróda elrendezésekre és egyenáramú mérési módszerekre. Ez lehetővé teszi az egyes elrendezések összevetését kutatási mélységük, paraméter-érzékenység térképeik, vagy más paramétereik segítségével.

- Szalai S, Szarka L, (2007): Classification of Surface Geoelectric Arrays, London 2007, 69th EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2007

- Szalai, S., Szarka L., (2008): On the classification of surface geoelectric arrays, *Geophysical Prospecting*, 56, pp. 159-175., SCI, impact factor: 0.731

Összegeztük a felszíni elektróda-elrendezések összegyűjtésével és rendszerezésével kapcsolatos cikkből származó járulékos eredményeket, így pl. a különböző derivált elrendezéseket, egyes alapelrendezések „**családfáit**”, ill. a különböző elrendezések kiötlésének folyamán használt stratégiákat is (kézirat).

- Szalai S, Szarka L, (2007): Auxiliary Results of Collection and Classification of Surface Geoelectric Arrays, 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Istanbul A09 (2007)

*Vállalás AI/2.): Az AI/1. elrendezések paraméter-érzékenység térképei számításához szükséges képletek levezetése, a kapott térképek értelmezése, összevetése*

**Levezettük fenti elrendezések mindegyikéhez a paraméter-érzékenységük számításához szükséges képletet. Ábrázoltuk a térképeket az elrendezések karakterisztikus hossza 0.1-, 0.2-, és 0.3-szeresének megfelelő mélységekre. Térképeket készítettünk a feltérbe helyezett kis (környezetétől eltérő fajlagos ellenállású) kocka különböző oldalpárjain felhalmozódó töltések (különböző irányú elektromos dipólok) hatását szemléltetve, és azok összegét, a teljes kocka hatását is ábrázoltuk a három mélység esetén. Megvizsgáltuk a térképeken az érzékenység eloszlását, a szimmetria viszonyokat, a pozitív, negatív és nulla érzékenységu tartományokat. Vizsgáltuk, hogy ezek a térképek milyen célokra használhatók (előremodellezés eredményének gyors megbecsülése ismeretlen elrendezés esetében profilmérés, vagy azimutális mérések esetére, új elrendezések kifejlesztése, a régiek jobb megismerése).**

- Szalai S, Szarka L, (2006): Parameter sensitivity maps of geoelectric methods, Abstract book of the 18th EMIW, El Vendrell, September 2006

- Szalai S, Szarka L, (2006): Parameter sensitivity maps of surface geoelectric arrays, Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental and Engineering Geophysics (ICEEG), Wuhan, China, June 4-9, 2006, Geophysical Solutions for Environment and Engineering, Volume 1, 260-264 J Wang; Y Xu; J Xia; C Chen editors Science Press USA Inc. (2006), SCI

- Szalai, S., Novák, A., Szarka, L., 2007: Egyenáramú elrendezések kutatási mélység vizsgálatai, 50 éves a nagycenki Széchenyi Observatórium emlékünnepe, Nagycenk

- Szalai, S., Szarka, L., (2008): Parameter sensitivity maps of surface geoelectric arrays I. Linear arrays, *Acta. Geod. et Geoph. Hung.* 43(4), pp. 419-437, DOI: 10.1556/AGeod.43.2008.4.4, SCI

- Szalai, S., Szarka, L., (2008): Parameter sensitivity maps of surface geoelectric arrays II. Nonlinear and focussed arrays, *Acta. Geod. et Geoph. Hung.* 43(4), pp. 439-447, DOI: 10.1556/AGeod.43.2008.4.5, SCI

---

*Vállalás AI/3.): Az AI/1. elrendezések normált mélység-érzékenység karakterisztika (NMK) függvényeinek számítása, összehasonlítása*

**Elkészítettük a tetszőleges felszíni elrendezések NMK függvényeinek számításához szükséges szoftvert, és számítottuk olyan elrendezések kutatási mélység értékeit, amelyekkel eddig nem foglalkoztak. Kimutattuk többek között, hogy a vizsgált fókuszált elrendezések az ily módon definiált kutatási mélység tekintetében nem emelkednek ki az átlagból.**

**Fenti vizsgálatokat a vállaltakon kívül a vizsgált elrendezések vertikális felbontóképesség értékeinek vizsgálatával egészítettük ki, és vizsgáltuk a kutatási mélység és a felbontóképesség egymáshoz való (reciprok) viszonyát.**

- Szalai S, Novák A, Szarka L, (2007): Depth of Investigation of Dipole-dipole, Noncolinear and Focused Geoelectric Arrays, 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Istanbul P26 (2007)

- Szalai S., Novák A., Szarka L., (2008): Geoelektromos elrendezések kutatási mélysége és vertikális felbontóképessége, és szerepük a sokelektrodás mérési adatok inverziójában, Inverziós Anket 2008., Miskolc

- Szalai, S., Novák, A., Szarka, L., (2009): Depth of investigation and vertical resolution of surface geoelectric arrays, *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 07-052R2 (in print), SCI, impact factor: 0.75

*Vállalás AI/4.): Egyes egyenáramú elrendezések (új definíció szerinti) kutatási mélységének megállapítása analóg modellmérések és numerikus számítások segítségével*

A GGKI-ban található modellkádban sokelektrodás egyenáramú **modellmérésekkel vizsgáltuk, hogy adott modell milyen mélységből mutatható még ki.** Ennek során sajnos nem várt nehézségek léptek fel, de fő célunkat sikerült elérni, azaz össze tudtuk vetni a MAN elrendezéssel, illetve néhány hagyományos elrendezéssel homogén feltérben különböző mélységekben elhelyezett kis átmérőjű, nagy vezetőképességű ható kimutathatóságának realitását. A kiértékelés jelenlegi stádiumában **a MAN elrendezés tűnik a legjobbnak** a fenti cél megvalósítására.

**Numerikus** előremodellezési vizsgálatokkal **meghatároztuk 6 különböző felszíni elektróda elrendezés egyes modellekre vonatkozó kimutathatósági mélységét,** azaz azt a maximális mélységet, amiből még az adott modellt 5, ill. 10%-os feltételezett zajszint mellett képes kimutatni az adott elrendezés. Az ezzel az új kutatási mélység-definícióval kapott eredményeink egyes esetekben éles ellentmondásban vannak az NMK vizsgálatok eredményeivel (AI/3.), aminek – feltételezhetően a modellfüggésben és/vagy az eltérő zajérzékenységben rejlő – okát természetesen vizsgálni kell majd.

- Novák A, Szalai S, Szarka L, (2006): Target detectability depths of DC arrays for various models, Extended Abstracts of the Near Surface 2006, Helsinki, Sept. 4-6, 2006 EAGE (2006)

- Novák, A., Szalai, S., Szarka, L. (2006): Egyenáramú elrendezések mélységdetektálása különböző modellekre, EAGE magyar csoportjának előadói napja, okt. 26. ELGI, (2006)

- Szalai S, Novák A, Szarka L, (2007): D. C. detectability investigations, Széchenyi István Emléknep, 2008.10.31.

---

*Vállalás AI/5.): AI/4.-hez zajvizsgálatok végzése (geometriai eredetű hibák, zavaró inhomogenitások jelenléte, topográfiai egyenetlenségek hatásának figyelembe vétele)*

Egy szisztematikusnak szánt zajvizsgálati sorozat első elemeként **számítottuk az elektródák pontatlan pozicionálásából eredő (azaz geometriai eredetű) hibák hatását különböző sokelektrodás elrendezések esetére.** Eredményeink azt mutatják, hogy **a gyakorlatban fellépő ilyen hibák hatása elhanyagolható, kivéve amennyiben olyan helyen kell mérnünk, ahol az elektródák pontos pozicionálása rajtunk kívülálló okból (elsősorban a talaj kőborítottsága miatt sziklás talajon) nem lehetséges.** Az ilyenkor fellépő hibák is minimalizálhatók azonban, amennyiben az elektródákat a mérési vonalra merőlegesen távolítjuk el az ideális pozíciótól, még akkor is, ha így az elektróda távolsága az ideális pozíciótól akár 5-6-szor nagyobb, mint ha az elrendezés vonalában „pozicionálnánk félre” az adott elektródát. Felhívtuk emellett a figyelmet arra is, hogy a pontatlan elektróda pozicionálásból eredő hibák mennyire különböző mértékben befolyásolják a különböző elrendezésekkel kapott eredményeket. A zajfüggésnek ez az elrendezés-specifikussága különösen a numerikus vizsgálatok során alkalmazott rutin eljárás felülvizsgálata szempontjából lehet jelentős.

**A zavaró inhomogenitások és a topográfia hatásának vizsgálatát** az AI/4. pontban leírt **analóg modellmérési** vizsgálatot kiegészítve végeztük el, ahol a homogén félteret modellező vízbe, illetve a víz felszínére különböző méretű nagyellenállású, háromdimenziós inhomogenitásokat helyezve is vizsgáltuk az egyes elrendezések detektálási képességét. **Eddigi tapasztalataink szerint a vizsgált elrendezések esetében az ilyen típusú zajok a mélyebben fekvő inhomogenitások kimutathatóságát csak kevésbé befolyásolják.**

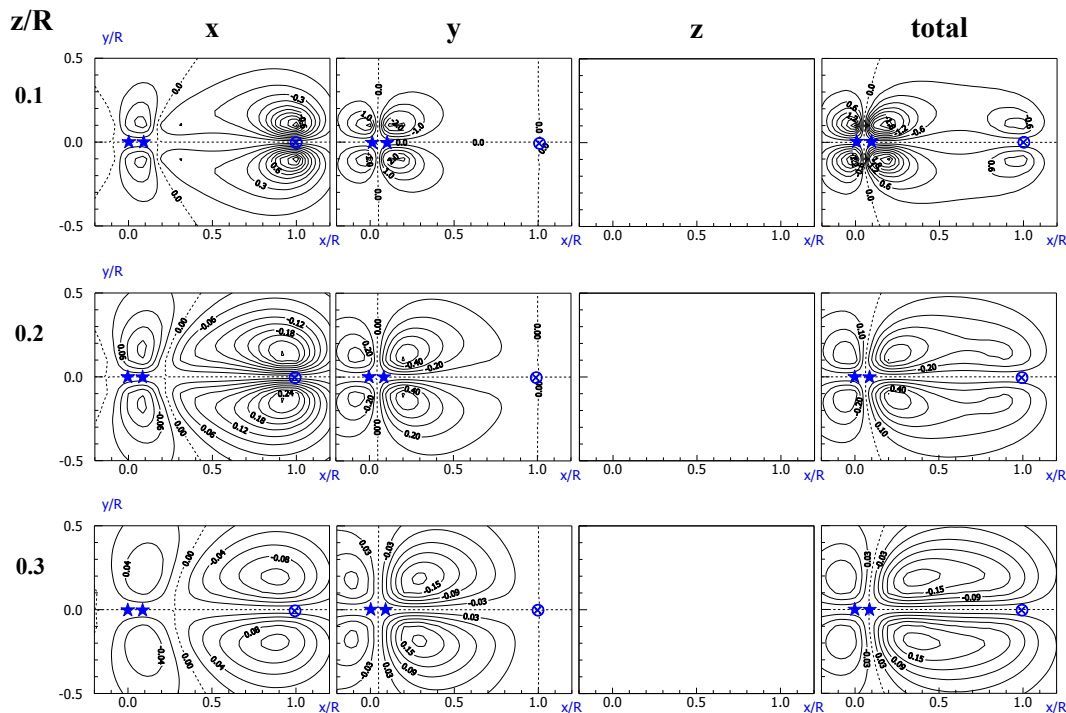
- Szalai, S, Koppán A, Szarka L, (2007): Effect of Positional Inaccuracies on Multielectrode Results, 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Istanbul P28 (2007)

- Szalai, S., Koppán, A., Szarka, L., (2008): Effect of positional inaccuracies on multielectrode results, *Acta. Geod. et Geoph. Hung.* 43(1), pp. 33-42., SCI

## II. Átmenet az elektromágneses null elrendezések felé

*Vállalás AII/1.):* Mágneses komponensekre vonatkozó paraméter-érzékenység térképek számítása, ábrázolása, értelmezése

Számítottuk, ábráztuk és értelmeztük a Schlumberger, a dipól axiális-, a dipól ekvatoriális-, a háromelektrodás-, és az unipole elrendezéseknek megfelelő konfigurációjú elrendezések mágneses komponenseire a paraméter-érzékenység térképeket (1. ábra). Az első három elrendezéssel kapott eredmények a hosszú periódusú MT probléma megértésében is segítségünkre lehetnek. Eredményeink kézirat formájában vannak.



1. ábra. A dipól tengelyében a mágneses tér vertikális komponensét mérő elrendezés paraméter-érzékenység térképei az inhomogenitásként fellépő kis kocka x-, y-, ill. z irányra merőleges lappárjainak hatása, valamint a teljes kocka hatása

*Vállalás AII/2.): Mágneses komponensekre vonatkozó normált mélység-érzékenység karakterisztika (NMK) függvények számítása és értelmezése*

**AII/1. elrendezések esetében számítottuk a mélység-érzékenység karakterisztika függvényeket, de ezen komponensek esetében – mint kiderült – a hagyományos módon kutatási mélység érték nem számítható, mivel a függvény értéke a mélységgel monoton csökken. Egy másfajta kutatási mélység definíció alkalmazása ezen komponensek esetében természetesen megfontolandó.**

---

*Vállalás AII/3.): Elektromágneses null elrendezések osztályozása, összevetésük az egyenáramú gerjesztésű null elrendezésekkel*

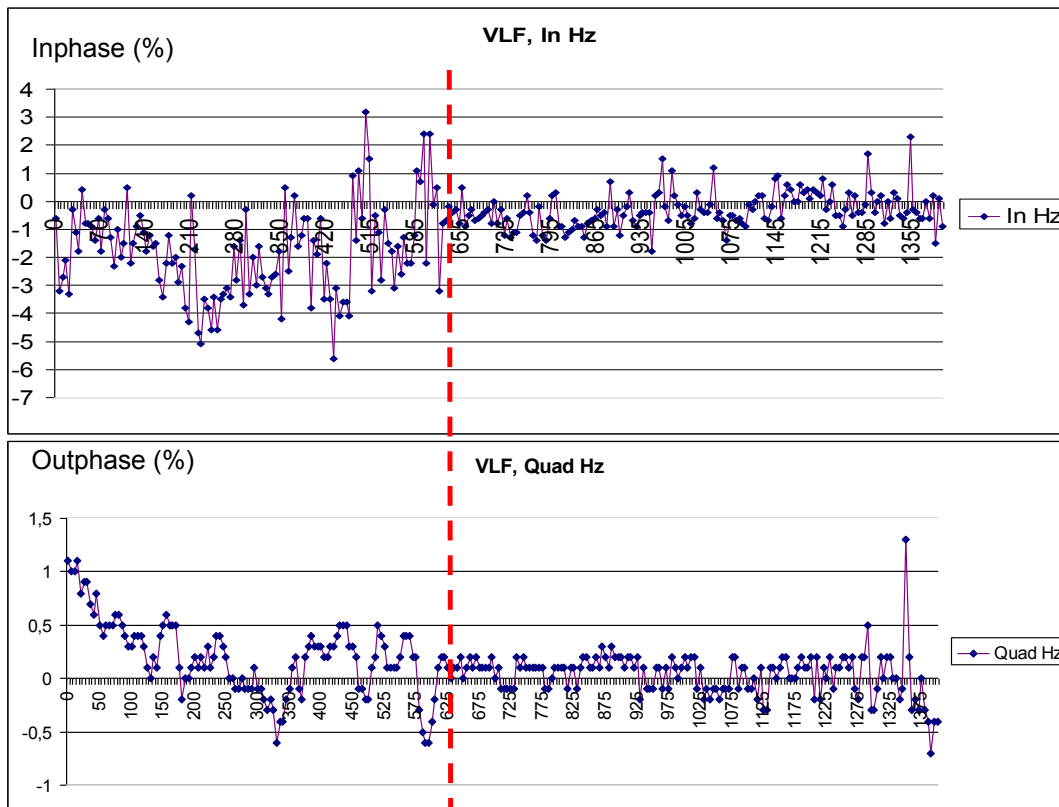
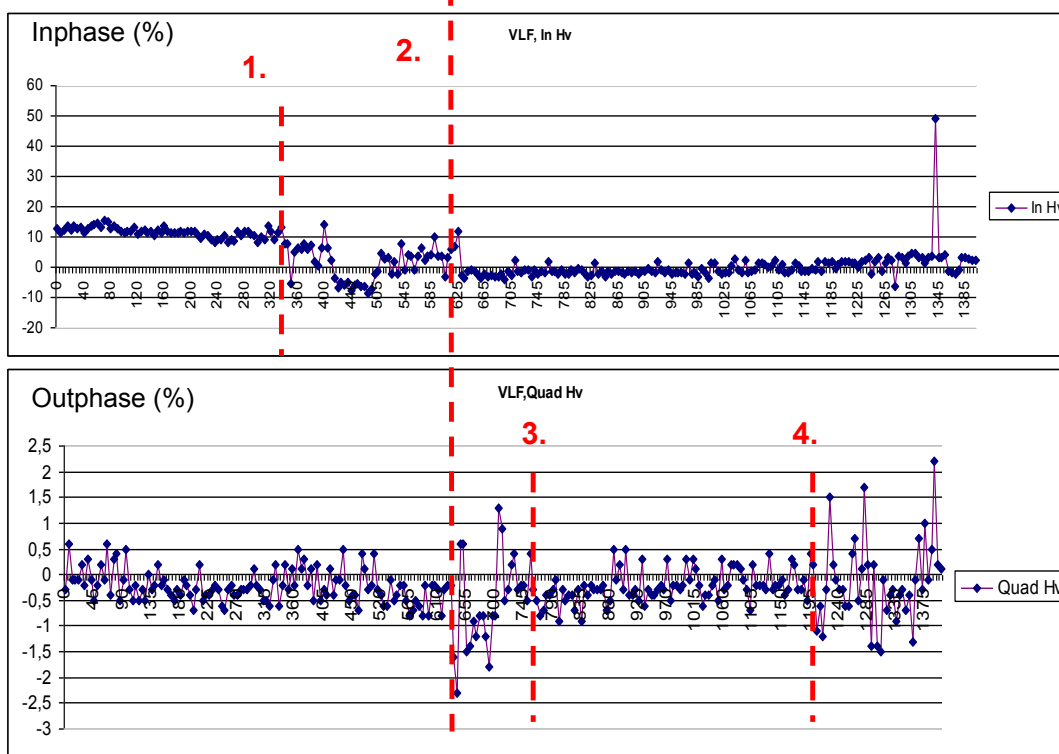
**Megvizsgáltuk, hogy különböző források és tértartományok esetén mikor használtak már null elrendezéseket és mely esetekben nem került sor még ezek használatára. Úgy tűnik, hogy ahol fizikailag adott a lehetőség, ott szinte mindig használják is (ha nem is mindig rutinszerűen) a null elrendezéseket. Az általunk elérhető műszerekkel a VLF-EM elrendezés egy módosulata segítségével tudtunk ilyen jellegű vizsgálatokat végezni. A mágneses tér radiális komponensét mérve különösen akkor várunk jó eredményeket, ha a vizsgálni kívánt ható közel ÉNY-DK, vagy ÉK-DNY csapásirányú, ugyanis a kevés működő adó az ilyen hatók kimutatása szempontjából nem túl szerencsésen (Magyarországról nézve) a fő égtájak valamelyikének irányában helyezkedik el.**

---

*Vállalás AII/4.): Egyen-, és váltóáramú null elrendezések és konvencionális elrendezések összehasonlító analóg és/vagy terepi mérései*

**Vizsgáltuk az elektromágneses null elrendezések terepi alkalmazási lehetőségeit. A közülük legperspektivikusabbat (a VLF elrendezés egy módosulata, AII/3. pont) terepen is sikerrel próbáltuk ki Kópháza térségében (2. ábra). A VLF-EM módszer esetében a  $H_r$  komponenst mérve ugyanúgy ki tudtuk mutatni a területen legszembeűnőbb 2. jelű változást, mint a hagyományosan mért  $H_z$  komponens segítségével, ugyanakkor az 1., 3., és 4. jelű változások csak az új módszerrel mérve szembeűnőek. Feltűnő emellett az Inphase komponens nagyfokú, a hagyományos VLF-EM módszerre nem jellemző stabilitása a feltehetőleg anomáliamentes övezetekben. Mérési eredményeink megfelelő értelmezéséhez további mérésekre és kutatásokra van szükség, de azok mindenképpen perspektivikusnak tűnnek. Az egyre kevesebb működő VLF adó miatt is feltétlenül hasznos lenne ezen módszer bevezetése a kutatásba, amennyiben eredményeink megerősítést nyernek.**

**További méréseket végeztünk a fenti módszerrel, valamint hagyományos VLF-EM méréssel és egyenáramú módszerekkel, köztük a MAN elrendezéssel, valamint a szűrőpróba módszerrel (lásd később!) Illmitz térségében (Ausztria, Fertő-part) vetők vizsgálatára, hogy ezáltal a különböző egyen-, és váltóáramú null elrendezések és a hagyományos elrendezésekkel kapott eredmények összevethetők legyenek egymással. Ebben az esetben a kétféle VLF-EM módszer közel egyenértékűnek tűnik. Megjegyezzük, hogy a 20m-es MN hosszúságú MAN elrendezéssel mérve még további anomáliákat is találtunk.**

$H_z$  $H_r$ 

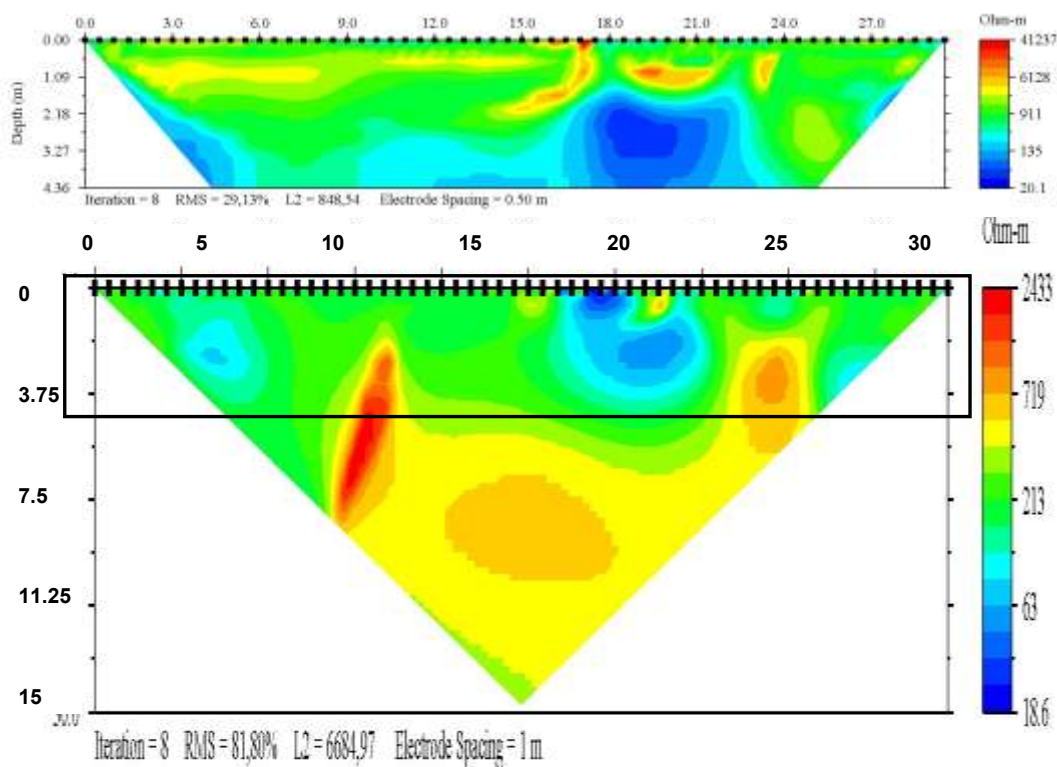
2. ábra. A hagyományos  $H_z$  komponens és egy másik null komponens, a  $H_r$  komponens mérése NY-i irányú (brit) adóval mérve Kópháza térségében (Frekvencia: 19.6 kHz)

### III.) Az elméleti megfontolások és feltevések terepi kontrollja

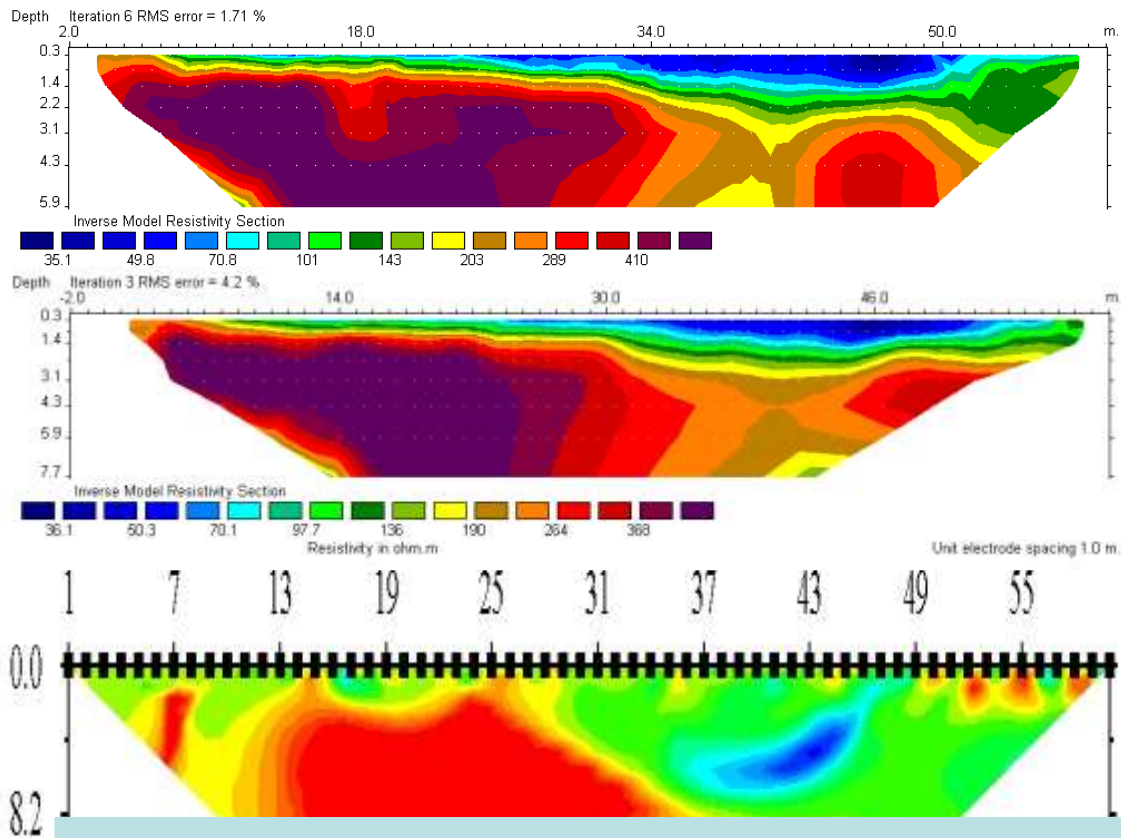
*Vállalás AIII/1.): További terepi vizsgálatok null elrendezésekkel elsősorban tapasztalatszerzés céljából és egyes null elrendezések beépítése a sokelektrodás mérőrendszerbe*

Meghatároztuk az összes, valamilyen szimmetriát mutató geometriai null elrendezés elektródapozícióit, és ezek közül a multielektrodás rendszerbe legkönnyebben beépíthető, és korábbi vizsgálataink alapján legperspektivikusabbnak tűnő null elrendezést a „midpoint null” (MAN) elrendezést beépítettük a multielektrodás rendszerünkbe. Beszereztük az ezzel az elrendezéssel invertálást végrehajtani képes szoftvert (EarthImager, AGI), majd megkerestük a legoptimálisabbnak tűnő paramétereket a MAN elrendezéssel kapott eredmények invertálására. Adaptáltuk mérőrendszerünk kimenetét az EarthImager szoftver által kezelhető bemenetté.

A multielektrodás MAN elrendezéssel méréseket folytattuk a Homód-árokban (Bakony), Dunaszekcsőn, valamint Sopronban és annak környékén több területen. A méréseket a nagyon kis elektróda távolságoktól (10 cm) a mérési rendszerünkkel használható legnagyobb elektróda távolságokat alkalmazva (2m) végeztük, és ennek eredményeként tapasztalataink is eltérőek voltak. Méréseinket a MAN elrendezés mellett a sokelektrodás mérésben alapelrendezésnek számító Wenner és dipól-dipól elrendezésekkel, a négyelektrodás multielektrodás rendszerekben bizonyos feltételek alapján optimálisnak vélt Stummer-féle mérési konfigurációval, a MAN elrendezéssel megegyező számú elektródát használó hagyományos három-elektrodás elrendezéssel, valamint a kutatási mélység szempontjából (az NMK értékek alapján) optimálisnak tekintett kételektrodás elrendezéssel végeztük, hogy megfelelő összehasonlítási alapunk legyen.



3. ábra. Repedésvizsgálat löszben (Dunaszekcső) Wenner- $\beta$  és MAN elrendezésekkel



4. ábra. Vízkutatói célú Schlumberger, Wenner és MAN multielektrodás mérések eredménye

Mind a 3. ábra, mind pedig a 4. ábra alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a MAN elrendezés képes lehet a hagyományos elrendezések által nem észlelt, vagy kevésbé pontosan lokalizált nagy ellenállású (3. ábra, levegővel kitöltött repedés? löszben), vagy nagy vezetőképességű repedés (4. ábra, agyaggal, vagy vízzel kitöltött repedés mészkőben) detektálására, vagy pontosabb pozícionálására.

- Újvári, G., Bányai, L., Mentés, Gy., Gyimóthy, A., Szalai, S., Novák, A., Papp, G., Holler, I., Rokob, K., Eperné, P., I. (2008): A dunaszekcsői földcsuszamlás „anatómiája” és mozgásvizonyai geodéziai és geofizikai mérések alapján, Pannon Tudományos Napok, 2008, Nagykanizsa

Analóg modellméréseket végeztünk többirányú repedésrendszer kutatásának elősegítésére profilmérésekkel és azimutális mérésekkel Schlumberger- és Schlumberger null elrendezéseket használva.

A MAN elrendezést sikerrel alkalmaztuk **többirányú repedésrendszerek** vizsgálatában is, bebizonyítva többek között, hogy az komplex geológiai körülmények között is jól használható.

- Révi Géza, Varga Mihály, Szalai Sándor, (2005): Többirányú repedésrendszer kutatása karszterületen. „XII. Konferencia a felszín alatti vízekekről”, Balatonfüred, márc. 30-31.

- Szalai S., Szarka L., Révi G., Varga M., (2005): Geoelectric investigation of a multidirectional fissure system in a karstic area. P047 Near Surface 2005, Palermo, 4-7 September 2005



- Szalai Sándor, Varga Mihály, Révi Géza, Szarka László, (2005): Geoelektromos mérések mészkőaljat többirányú repedezettségének feltérképezésére. MGE (magyar EAGE-csoport) előadóülése, Budapest, nov. 17.

- Szalai S., Szarka L., Révi G., Varga M. (2005): Geoelectric investigation of a multidirectional fissure system in a karstic area. EGU-05-A-01031, Geophysical Research Abstracts, Vol. 7.

- Szalai S., Szarka L., Révi G., Varga M. (2006): DC geoelectrics over a pluridirectional fissure system in a karstic area, 18th EM Induction Workshop, El-Vendrell, Spain

- Szalai S, Szarka L, Révi G, Varga G, (2006): Geoelectric investigation of a pluridirectional fissure system in a karstic area, Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental and Engineering Geophysics (ICEEG), Wuhan, China, June 4-9, 2006 Geophysical Solutions for Environment and Engineering, Volume 1, 287-291. J Wang; Y Xu; J Xia; C Chen editors Science Press USA Inc. (2006), SCI

- Szalai S., Varga M., Révi G., Szarka L., (2007): Többirányú repedésrendszer feltérképezése, 50 éves a nagyeceni Széchenyi Obszervatórium emlékünnepe

- Szalai S., Szarka L., Varga M., (2007): Geoelectric investigation of pluridirectional fissure system in a karstic area, 2007, IUGG Conference, 2007 Perugia, Session ASI011

A Balfi-tönkön **monitorozást** végeztünk a MAN elrendezéssel, valamint az összehasonlítás érdekében a Wenner- és a Stummer elrendezésekkel. A monitorozás során arról is képet kaphatunk, hogy a MAN elrendezés mennyire képes a felszín alatti közettartományok időbeli változásait nyomon követni.

---

*Vállalás AIII/2.): Terepi kutatási mélység vizsgálatok null-, és konvencionális elrendezésekkel*

**Az AIII/1. pontban is említett elrendezésekkel mértünk befedett patakmeder felett annak érdekében, hogy összevethessük a MAN elrendezés kutatási mélységét több egyéb elrendezésével.** A kapott eredmények némi optimizmusra adnak okot. Fentieket megelőzően numerikus vizsgálatok alapján feltételeztük, hogy nagyobb mélységekben abszolút értékben is nagyobb anomáliát okoznak adott paraméterű 2D hatók a MAN elrendezés, mint pl. a Wenner elrendezése esetében. Analóg modellméréseink (AI/4.) szerint is lehetséges, hogy legalább egyébként homogén, vagy rétegzett feltérben lévő 2D ható nagyobb mélységből detektálható, mint a hgyományos elrendezésekkel.

- Szalai S., Szarka L., Marquis G., Sailhac P., Kaikkonen P., Lahti I. (2005): Colinear null arrays in geoelectrics. LAGA WG 1.2 on Electromagnetic Induction in the Earth, Proceedings of the 17<sup>th</sup> Workshop, <http://www.emindia2004.org>

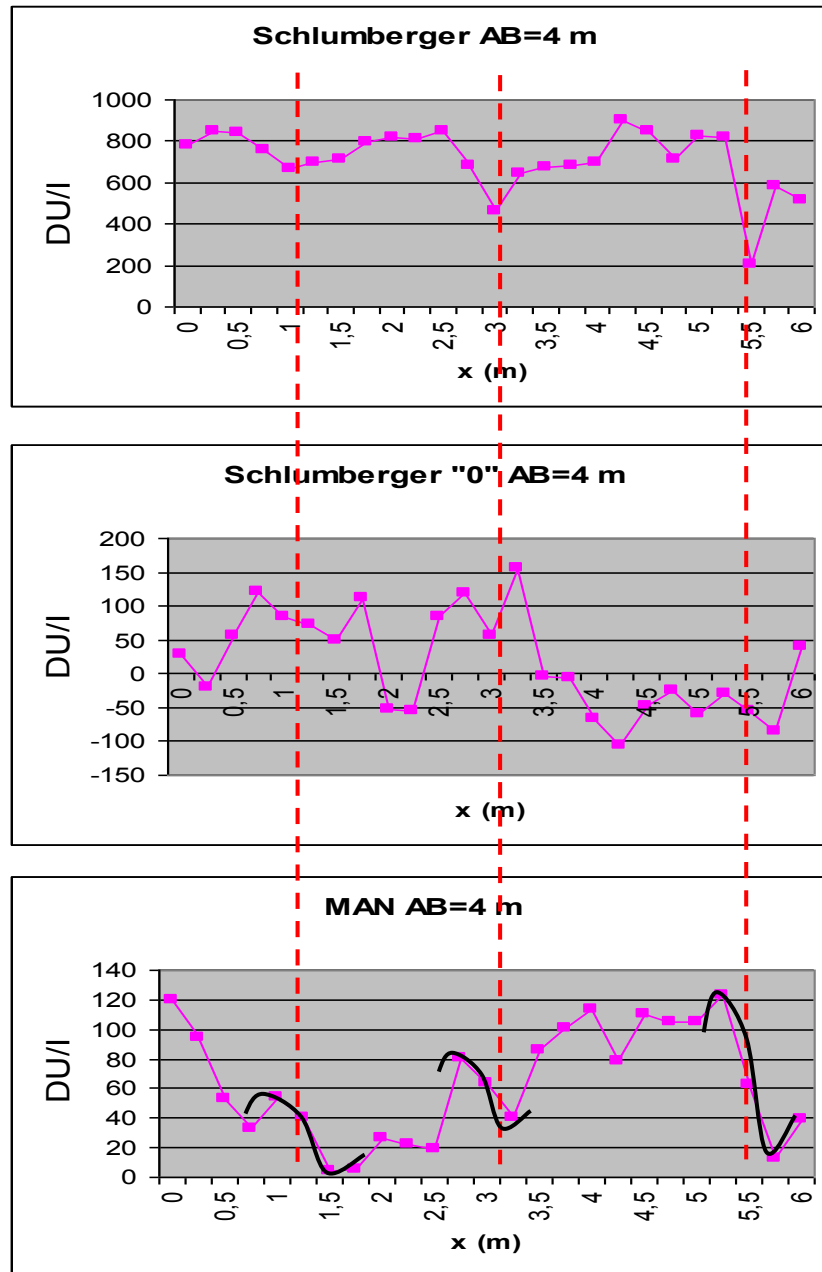
- Szalai S., Szarka L., Marquis G., Sailhac P., Kaikkonen P., Lahti I. 2005: Collinear null arrays in geophysics. EGU-05-A-01044, Bécs

---

*Vállalás AIII/3.): A feltételezett „kimutathatósági paradoxon” lehetőségének terepi vizsgálata  
a.) Profilmérés; b.) Szondázás esetében*

**Profilmerést végeztünk eltemetett falmaradványok detektálása céljából Schlumberger null- és Schlumberger elrendezéssel, offszet rendszerű profilmérést Schlumberger-, Schlumberger null-, és MAN elrendezésekkel eltemetett patakmeder, illetve**

csővezeték felett (5. ábra) azok detektálási sajátosságainak jellemzésére. Méréseink igazolták, hogy a MAN elrendezés képes 2D inhomogenitások kimutatására is annak dacára, hogy ideális kétdimenziós közegben offset technikával mérve ez nem lenne lehetséges. Ennek oka a terepi körülmények 2D modellünktől való eltérésében rejlik. A Schlumberger null elrendezés esetében a helyzet bonyolultabb, annak bonyolultabb paraméter-érzékenység eloszlása miatt.



5.ábra. Offset mérések Schlumberger, Schlumberger null és MAN elrendezésekkel

A Schlumberger-, Schlumberger null-, és MAN elrendezésekkel elvégzett szondázások eredményei alapján már jelenleg is sejthető, hogy null elrendezésekkel is lehet szondázást végezni, bár gyakorlati használatának értelme még kérdéses. Erre csak akkor kerülhet

sor, ha esetleg ezek az elrendezések olyan rétegeket is képesek kimutatni, amilyeneket a hagyományos elrendezések nem. Méréseink alapján vannak erre utaló jelek, de ezeket alátámasztani, vagy megcáfolni csak fúróluk környezetében végrehajtott méréssel, annak eredményeivel összevetve lehet. Megjegyezzük, hogy fenti vizsgálatok és egyéb megfontolások is abba az irányba mutatnak, hogy érdemes lesz megvizsgálnunk részletesebben a null elrendezéshez közeli, ún. kvázi null elrendezéseket.

---

#### *A/E. Egyéb tevékenységek*

A tudományos kutatás elkerülhetetlen velejárója, hogy a kutatás során új lehetőségek merüljenek fel. Esetünkben is többször ez történt, és a felcsillanó lehetőségeknek időnként nem tudva ellenállni olyan kutatásokba is belekezdünk, amelyek vállalásainkon esetleg kissé kívül esnek, jóllehet az OTKA témájához szorosan kötődnek. Ezekről esik szó az egyéb tevékenységeink között.

A Bakonyban végrehajtott terepi kutatásaink során merült fel annak a lehetősége, hogy az akár több 10 m mélységben lévő **mészkoaljzat** műszerek nélkül is **kutatható** lenne. A módszernek, amivel ez lehetővé válna, a **szúrópróba módszer** (SZP, angolul pricking probe) nevet adtuk. Jóllehet a módszer működőképességének bizonyításához több közvetett bizonyíték is rendelkezésünkre áll, közvetlen bizonyítékra a megfelelő teszterület nehéz elérhetősége miatt csak 2009-ben tudunk szert tenni.

- Szalai, S., Novák, A., 2005. Jelentés a Homód-árok területén végzett geofizikai mérésekről a Berzsényi Dániel Főiskola Természetföldrajzi Tanszékének megbízásából, 2005. okt. 21.

- Szalai, S., Novák, A., 2005. Kísérlet a Homód-árok területén mért geofizikai adatok értelmezésére, Jelentéskiegészítés a Berzsényi Dániel Főiskola Természetföldrajzi Tanszékének megbízásából, 2005. okt. 21.

- Szalai, S., Veress, M., Novák, A., Szarka, L. (2006): Geofizikai mérések fedett karszton (Homód-árok, Bakony), IX. Karsztfejlődés Konferencia

- Szalai S, Veress M, Novák A, Szarka L, (2006): Geofizikai vizsgálatok fedett karszton (Homód-árok, Bakony), In: Veress Márton (szerk.) Karsztfejlődés XI, Szombathely: Berzsényi Dániel Tanárképző Főiskola, , pp. 153-170.

- Szalai S, Veress M, Novák A, Szarka L, (2007): Bedrock topography in a buried karstic area by applying multielectrode measurements completed with "pricking probe", AGU Fall Meeting, San Francisco, 2007 Eos Trans. AGU, 88(52), Fall Meet. Suppl., Abstract NS11D-0788

- Szalai S, Veress M, Novák A, Szarka L, (2007): Investigations of the bedrock topography in the Harskut basin, Széchenyi István Emléknep, 2008.10.31.

- Szalai S, Veress M, Novák A, Szarka L, (2007): Bedrock topography in a buried karstic area by applying multielectrode measurements completed with "pricking probe", AGU Fall Meeting, San Francisco, 2007 Eos Trans. AGU, 88(52), Fall Meet. Suppl., Abstract NS11D-0788

- Szalai S, Veress M, Novák A, Szarka L, (2008): Application of the simplest geophysical method, the pricking probe method to map bedrock topography in a buried karstic area , EAEG-Near-surface, P17, 2008, Kraków, Poland

Erről a „nagyon-nem-konvencionális” SZP módszerről azt is bebizonyítottuk, hogy **régészeti mérések** során is nagyon hatékony lehet. Az általunk vizsgált területen eredményessége felülmúlta mind a geoelektromos, mind pedig a mágneses módszert. A georadarénál pedig ugyan kevésbé egyértelmű képet szolgáltatott a ható körvonalairól, ugyanakkor a ható belső szerkezetéről ez az új módszer adta a leginkább részletgazdag képet. A SZP módszerrel kapható eredményeket döntően befolyásoló paramétereket, úgymint beszúrási mélység és mintavételi távolság, részletesen is vizsgáltuk, valamint azt is bebizonyítottuk, hogy a falak detektálása a SZP módszerrel abban az esetben is lehetséges lehet, ha a beszúrási mélységet többé vagy kevésbé meghaladja a falak mélysége.

- Szalai, S., Lemperger, I., Pattantyús, Á., M., Szarka, L., (2009): The pricking probe method in archeological prospecting, (manuscript)

Főként egyiptomi kollégákkal dolgozva **vizsgáltuk aknák detektálási lehetőségeit 3D egyenáramú mérésekkel.**

- Metwaly, M., El-Qady, G., Matsushima, J., Szalai, S., Al-Arifi, N., S., N., Taha, A., (2008): Contribution of 3-D electrical resistivity tomography for landmines detection, Nonlin. Processes Geophys., 15, pp. 977-986. SCI, impact factor: 1.314

Fenti publikációk mellett még számos többé-kevésbé befejezett anyaggal rendelkezünk, amelyek az elkövetkező időszakban juthatnak el a megjelentetés állapotáig. Különösen a szűrőpróba módszer alkalmazásával kapcsolatos, a karsztos fekü mélységének kutatásával, illetve a módszer régészeti alkalmazásával kapcsolatos két cikkünk van publikálás-közelebbi állapotban. Emellett **rengeteg további hasznos tapasztalatot gyűjtöttünk a multielektródás MAN mérésekkel kapcsolatban, amelyek azonban nagyon szerteágazóak és egyelőre még sok esetben ellentmondásosak.** Mind a numerikus-, mind a fizikai modellezés, mind pedig a terepi mérések során voltak olyan modellek (esetek), amikor a MAN elrendezés jobbnak bizonyult, (vagy legalábbis látszik), mint a hagyományos elrendezések, holott azok közül jónéhánnyal összevetettük. A mérések feldolgozásának jelen állapotában **főleg közel homogén, vagy párhuzamosan rétegzett feltérben elhelyezkedő (méretüket, és/vagy ellenálláskontrasztjukat tekintve) kis anomáliák kimutatásában bizonyulhat jobbnak a MAN elrendezés a többi elrendezésnél.** Hatványozottan igaz lehet ez, ha az inhomogenitás nagy ellenállású réteg alatt, vagy nagy mélységben helyezkedik el. Utóbbinak elsősorban akkor van jelentősége, ha a mérésekre rendelkezésre álló terület kicsi. Fentiek mellett a vizsgált térrész bármilyen **2D szerkezettől való eltéréseinek detektálására nagyon alkalmasnak tűnik a multielektródás MAN elrendezés.** Az OTKA keretében beszerzett hatalmas mérési anyag rendezése és értelmezése egyik legfontosabb közeljövőbeli feladatunk.

## B.I. Szintetikus áramfókuszált elrendezések vizsgálata

Az áramfókuszálási eljárás lényege az, hogy nagyszámú, konvencionális pole-pole vagy pole-dipole elrendezésben végzett multi-elektrodás mérés eredményét felhasználva a fúrólyukbeli mérésekben használt Laterolog elrendezésű mérések elvének analógiájára **szintetikusan, számítógépes optimalizálás alapján hozzuk létre az áramfókuszált elektromos teret** (a Laterolog módszer esetében ez hardware-s módon történik), amely mélyebben elhelyezkedő és kisebb inhomogenitások kimutatását teszi lehetővé, mint a fókuszáláshoz felhasznált (és a többi hasonló) konvencionális elrendezések, illetve egydimenziós szerkezetek esetében kisebb geometriai távolságra (helyre) van szükség a mérések kivitelezéséhez, ami a terepen sokszor nagyon előnyös lehet.

---

### *Vállalás B.I.1: Háromdimenziós modellezési eljárás realizálása*

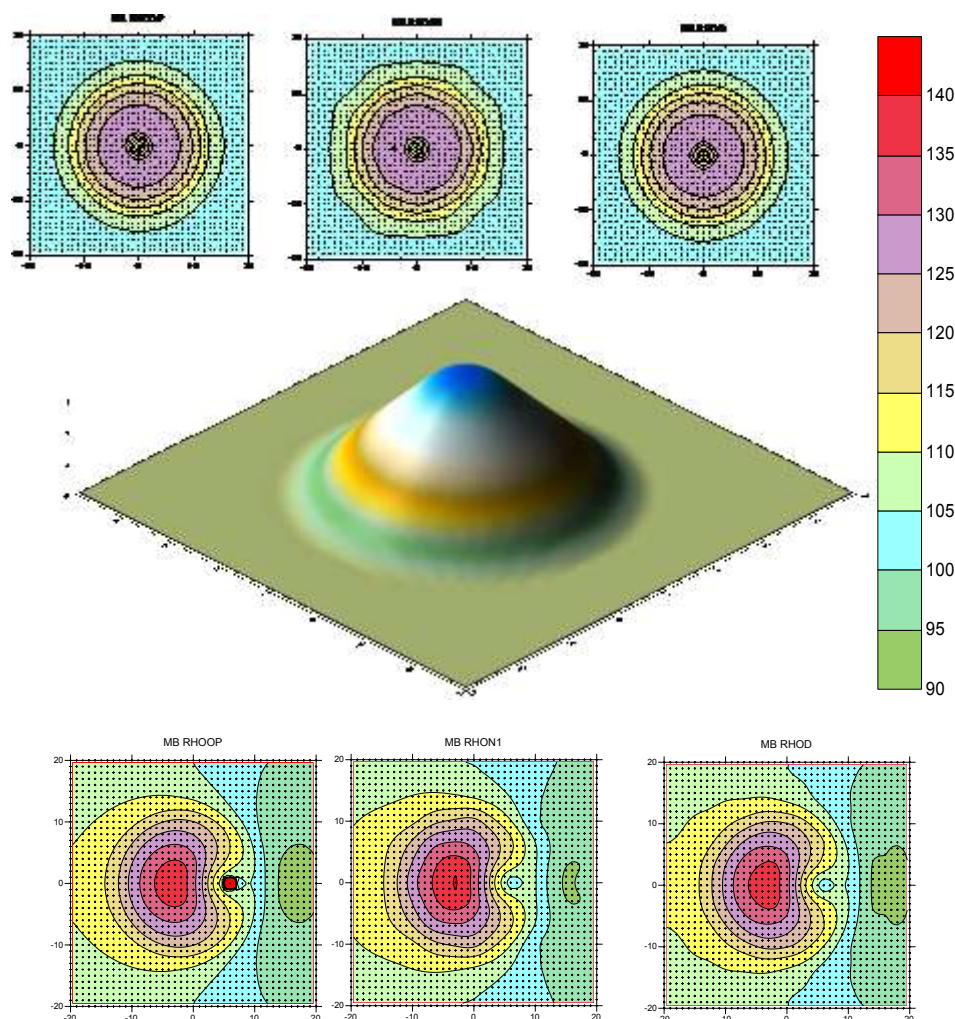
A módszer alkalmazhatóságának és tulajdonságainak vizsgálatához feltétlenül szükség van háromdimenziós numerikus modellezést megvalósító hatékony, gyors, valamint a mérési- és a modellparaméterek szempontjából flexibilis eljárásra, ezért **elkészítettünk egy, a véges-elemek módszerén alapuló, háromdimenziós modellező programot**. Ez a program tartalmaz egy "újdomságot" is: a véges-elemes eljárás jól ismert, a használt tetrahedron elemek tetraéderes felbontásából adódó anizotrópiát megszüntető, az összes független felbontást figyelembevevő rácsgenerálást és potenciálszámítást.

A program vagy a teljes potenciált, vagy pedig csak a másodlagos potenciált határozza meg. Az utóbbi – elvileg jóval stabilabb — esetben a szintén közismert, és a két- vagy háromdimenziós, nem sík topográfiával bíró homogén féltér esetére eddig általánosan még meg nem oldott **szingularitási problémát egy speciális eljárásnak, az ún. Trefftz-módszernek az adott problémára továbbfejlesztett változata alkalmazásával küszöböltük ki**.

Ez a módszer nagyszámú ún. tükörpontot (image) használ a topográfia lekezelésére. Az alábbi ábrán egy háromdimenziós domb esetére a Trefftz-módszerrel végzett modellezés eredménye látható. A domb 30 fokos lejtővel bírt, közelítőleg 6 méter magas volt és a modellezés során egy 40 x 40 méteres hálóra számítottuk ki a látszólagos fajlagos ellenállásokat 100 Ohm-es homogén féltér modellt használva. A kapott eredményeket egy integrálegyenletek módszerével végzett olyan modellezéssel kapott eredményekkel hasonlítottunk össze, amelyet világszerte etalonnak szoktak tekinteni (Oppliger-féle modellezés, 6. ábra). A felső ábrahármass esetében az áramelektroda a domb tetején volt, az alsó ábrahármass esetében pedig a rézsű közepén (a baloldali ábrán piros tele körrel jelzett pontban). A középső háromdimenziós ábrán a domb topográfiája látható.

Az ábrahármassoknál a baloldali ábrákon az Oppliger-féle integrálegyenletes módszerrel számított látszólagos fajlagos ellenállás-eloszlások, a középső ábrákon a Trefftz-módszer Neumann-féle határfeltételeket használó, míg a jobboldali ábrákon a Trefftz-módszer Dirichlet-féle határfeltételeket használó változatával számított fajlagos ellenállás eloszlások láthatók. A háromféle módon számított értékek maximális eltérése kisebb, mint 1%, ami egyértelműen bizonyítja a Trefftz-módszer pontosságát, alkalmazhatóságát.

**Szisztematikus numerikus modellezési kísérleteket végeztünk az áramfókuszáló elrendezésben végzett szondázási mérések vizsgálata céljából, amihez többféle áram- és potenciálelektroda elrendezést használtunk.** A fókuszáló áramok meghatározása minden elektrodaelrendezés esetén ugyanúgy történik, csak az áram- és potenciálelektrodák száma és azok geometriai koordinátái különbözhetnek jelentősen.

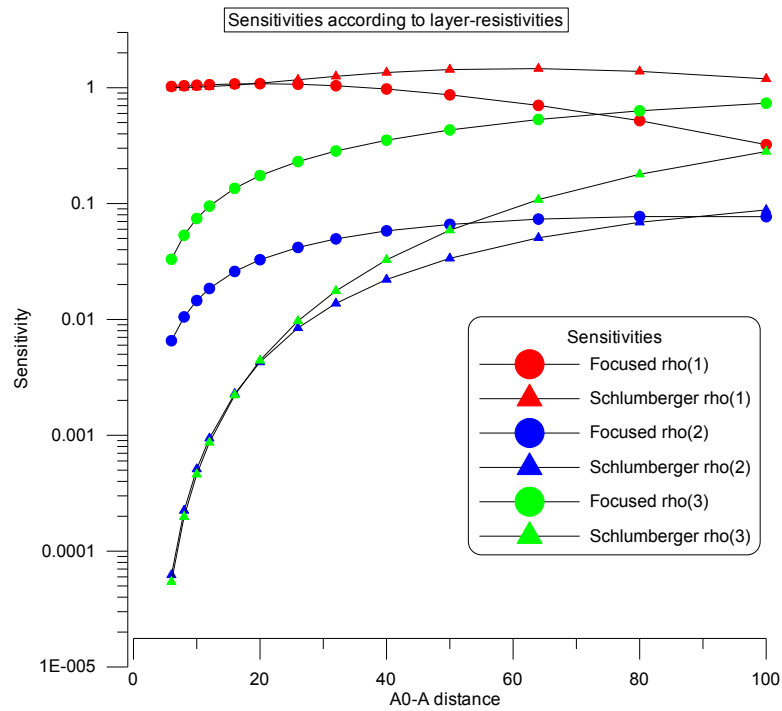


6. ábra. Háromdimenziós domb alakú topográfiával bíró feltér feletti modellezés eredményei

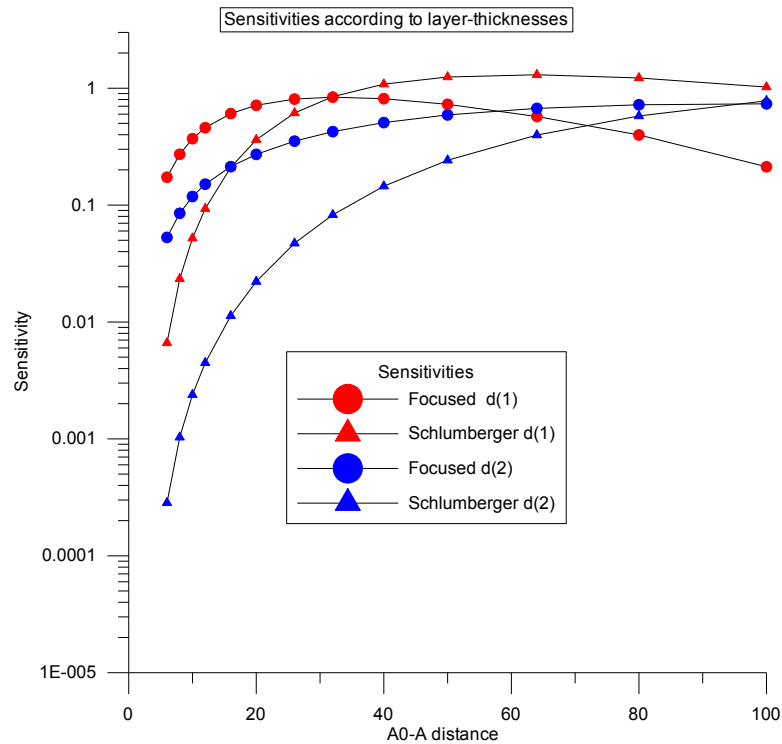
A legegyszerűbb, a három egyvonalban elhelyezkedő áramelektrodát használó, elrendezés mellett több más elrendezést is kipróbáltunk, vizsgálva, hogy vajon több áramelektroda és/vagy bonyolultabb fókuszáló elrendezés növeli-e a fókuszálás hatékonyságát. Nagyszámú, különböző egydimenziós modellek használatával végzett, numerikus modellszámítás alapján azt mondhatjuk, hogy a bonyolultabb, háromnál több áramelektrodát tartalmazó, elrendezések csak jelentéktelen javulást okoznak a rendszer paraméterérzékenységében, a kapott kvázi-szondázási fajlagos ellenállás görbe dinamikája sem növekszik számottevően (azaz nem reagál erősebben a mélyebben fekvő rétegek paramétereinek a változására) a legegyszerűbb három áramelektrodás elrendezéssel szemben. Ugyanez mondható el a mérőelektrodák számának növeléséről, például a szelvényre merőleges irányban is elhelyezett potenciálelektrodák esetéről is.

A továbbiakban csak a majdnem legegyszerűbb elektroda elrendezésre (egy állandó helyzetű központi áramelektroda, annak két oldalán és ahhoz közel elhelyezkedő két potenciálelektroda pár, és két, a központi áramelektrodára szimmetrikusan elhelyezkedő, “mozgó” áramelektroda) mutatunk be néhány eredményt. Azért használtunk két potenciálelektroda-párt egy helyett, hogy jobban szimuláljuk a terepi körülményeket (pl. a laterálisan is inhomogén

vezetőképesség-eloszlást). A következő ábrákon egy K-típusú háromréteges geoelektromos modell vizsgálatából mutatunk be néhány eredményt.



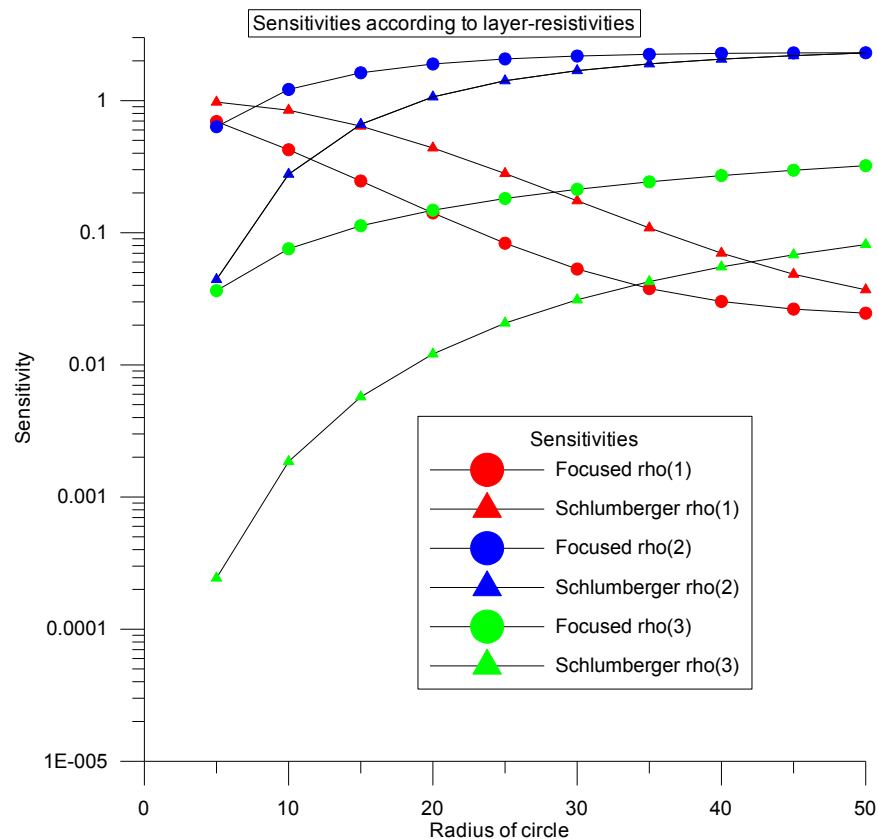
7. ábra. A rétegellenállások szerinti érzékenységek



8. ábra A rétegvastagságok szerinti érzékenységek

Fenti ábrákon a  $\rho(1)=\rho(3)=10$  Ohmm,  $\rho(2)=100$  Ohmm,  $d_1=d_2=10$ m paraméterekkel bíró geoelektromos modellre számított eredmények láthatók. A paraméterérzékenységeket fókuszált elrendezés esetében az A-A0 (azaz a központi és a mozgó elektróda) távolság függvényében, a Schlumberger-féle elektróda-elrendezés esetében az AB/2 távolság függvényében ábrázoltuk, a két távolság természetesen megegyezik egymással. Az érzékenységtérkékeknek az abszolút értékét jelenítettük meg. Az 7. ábrán a rétegellenállásokra vonatkozó érzékenységgörbék láthatók. Az ábrából **egyértelmű, hogy a fókuszált elrendezésnek jóval nagyobb a behatolási mélysége, hiszen a mélyebben fekvő rétegek hatása főleg kisebb geometriai távolságok esetében jóval nagyobb, mint a Schlumberger-elrendezésre kapott értékek.** Az 1. réteg ellenállására ez nem igaz, de az 1. réteg paramétereit ennek ellenére jól meg lehet határozni. (Fenti kijelentés nincs feltétlenül ellentmondásban az AI/3.-ban tett kijelentéssel, hiszen más a vizsgált modell.)

A 8. ábrán a rétegvastagságra vonatkozó érzékenységgörbék láthatók, ugyanazok a következtetések vonhatók le, mint a rétegellenállásokra való érzékenységek esetében.



9. ábra A rétegellenállások szerinti érzékenységek köralakú fókuszálás esetén

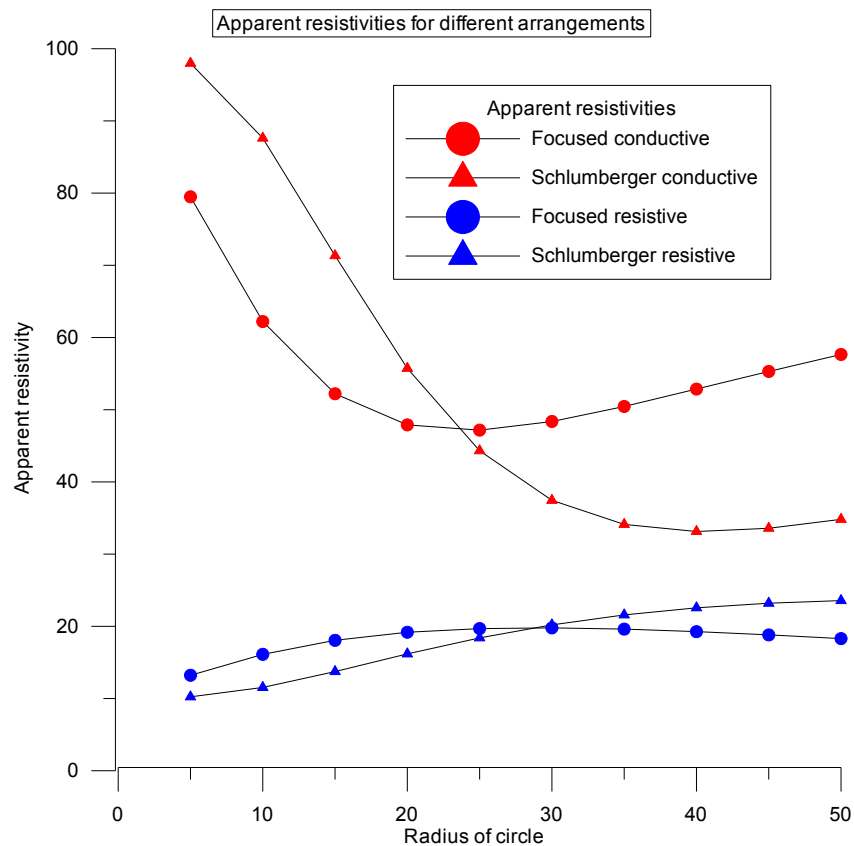
A korábban 6. elrendezésnek nevezett elektróda-konfigurációból egyszerűen eljuthatunk a **köralakban lehelyezett áram- és potenciálektródákat használó fókuszáló konfigurációhoz.** A 9. ábrán köralakú fókuszálás esetén ugyanazokkal a paraméterekkel bíró H-típusú háromréteges modellel számított érzékenységgörbék láthatók, amelyet a lineáris áramelektroda-elrendezés esetében is használtunk. Az ábrák vízszintes tengelyén az áramelektroda-körök sugara található, amelynek nagysága megegyezik a megfelelő Schlumberger-görbe adott pontjához tartozó AB/2 értékkel. A **2. és 3. réteg paramétereire most is sokkal nagyobb**



érzékenységtértékeket kaptunk, mint az adott kör átmérőjével egyenlő geometriai távolsággal bíró Schlumberger-féle elrendezés esetében. Az áram-elektrodák számának növelése (a kör alakú vonalelektroda jobb közelítése) csak jelentéktelen változást okozott.

A 10. ábrán a fókuszált és a Schlumberger-elrendezéssel számolt látszólagos fajlagos ellenállás görbék láthatók, mind a 8. és 9. ábrákhoz használt H-típusú (conductive) mind pedig az 7-8. ábra előállításakor használt K-típusú (resistive) háromréteges modellre. Ebből az ábrából is egyértelműen látszik a fókuszált elrendezés nagyobb behatolási mélysége, pl. a fókuszált elrendezésnél sokkal hamarabb jelentkezik a kvázi-szondázási görbén a harmadik réteg hatása.

A köralakban elhelyezett fókuszáló áramelektroda elrendezéssel végzett szisztematikus numerikus modellezési kísérletekből is ugyanazokat a következtetéseket vontuk le, mint a lineáris elrendezések vizsgálata során, azaz a mérőelektroda-körök számának növelése csak jelentéktelenül javítja a rendszer érzékenységét (viszont a terepi mérések esetében jelentősen növeli az elrendezés leterítéséhez és a mérések elvégzéséhez szükséges időt, valamint a használandó elektrodák, sokeres kábelkorbácsok és kapcsolódobozok számát. Több áramelektroda-kör egyidejű használata az áramfókuszálás során bizonyos esetekben (pl. nagyellenállású közbetelepülésekkel bíró egydimenziós modellek esetében) kissé megnöveli a szondázási görbék dinamikáját és a mélyebben elhelyezkedő rétegek paraméterire vonatkozó érzékenységeket.



10. ábra Látszólagos fajlagos ellenállások H és K típusú modellek esetén

### *Vállalás B.I.3.: Az alkalmazási lehetőségek felkutatása*

Ha a mérésekhez kevés hely áll rendelkezésre viszont el lehet helyezni a végtelenben a B- és az N-elektrodákat és/vagy a keresett ható viszonylag mélyen helyezkedik el, akkor célszerű a lineáris áramfókuszált elrendezést használni. Ilyen elrendezéssel mértünk például egy nagyméretű (de a megfelelő hosszúságú hagyományos terítéshez mégis kicsi) hulladéklerakó rekultivált felszínén, ahol a feladat a **hulladékdomb belsejében kialakuló csurgalékvizes blokkok kimutatása, elkülönítése** volt. A méréseket multi-elektrodás berendezéssel Schlumberger-féle és áramfókuszált elrendezésben is elvégeztük, mindkettő kimutatta a vizes blokkok többségét, de az áramfókuszált elrendezésben a vizsgálandó terület nagyobb részét lehetett felmérni az egy szondázási görbe leméréséhez szükséges kisebb maximális geometriai távolság miatt, másrészt több esetben mélyebben elhelyezkedő inhomogenitások esetében a Schlumberger-elrendezésben mért adatok értelmezéséből nem látszott az inhomogenitás alja, áramfókuszált mérések esetében viszont igen, sőt az utóbbiak esetében többnyire a hulladék alatt elhelyezett rendkívül nagy ellenállással bíró szigetelőfólia is látható az inverzióval kapott ellenállásslényeken.

A köralakú áramelektroda-elrendezést használó fókuszált elrendezésre szintén a **hulladéklerakók** jelentik az egyik potenciális alkalmazási lehetőséget, például abban az esetben, amikor a hulladéklerakó bányagödrökre épült és meg kell határozni az **egykori bányagödrök kiterjedését és mélységét**. Ebben az esetben csak a hulladékdomb tetején lehet mérni, viszont annak magassága és horizontális kiterjedése általában nem teszi lehetővé, hogy hagyományos elektroda-elrendezésekkel elegendően nagy kutatási mélységet lehessen elérni. Köralakban elhelyezett fókuszáló áramelektrodával végzett mérésekre a mérési terület topográfija sokkal kisebb hatást gyakorol, mint hagyományos terítések esetén.

Az azonos kutatási mélység eléréséhez szükséges jóval kisebb geometria távolság miatt az áramfókuszált elrendezés olyan problémák megoldásában is segít, ahol ugyan elég nagy a mérések számára hozzáférhető terület, viszont azon környezetükhöz képest nagy ellenálláskontrasztal bíró hatók (pl. csövek, üregek, stb.) találhatók. Az áramfókuszált mérések elrendezése ilyen esetekben úgy tervezhető, hogy az elektrodák ne kerüljenek ezen zavaró hatók közelébe.

Végül nyilvánvalóan egy potenciális alkalmazási lehetőség a **direkt üregkutatás**, tulajdonképpen ismereteink szerint mások eddig csak erre alkalmazták az áramfókuszálási "technikát".

---

### *Vállalás B.I.4.: Az eljárás beépítése a többcsatornás sokelektrodás mérő- és feldolgozó rendszerbe.*

A magyar fejlesztésű és gyártású RESP-12 sokcsatornás geoelektromos mérőberendezés majdnem minden elektroda-elrendezést le tud kezelni vagy úgy, hogy a vezérlő programja figyelembe veszi az adott elrendezés (pl. Schlumberger, dipole-dipole, pole-dipole, pole-pole, stb.) elrendezés speciális sajátosságait, vagy ún. általános elektroda-elrendezésként szövegszerkesztővel vagy segédprogrammal megírt, az ún. szekvenciákat (egy adott mérésnél a méréshez szükséges 4, A-, B-, M-és N-) elektroda sorszámát ) tartalmazó adatfile alapján vezérli az elektrodák ki- és bekapcsolását.

**Létrehoztunk egy olyan programváltozatot, amely levezérli az áramfókuszálás szintetizálásához szükséges kétirányú pole-dipole elektroda-elrendezésű méréseket, valamint**

a látszólagos fajlagos ellenállás meghatározásához szükséges pole-pole elrendezésű méréseket. A mért adatok olyan formátumúak, hogy azokat a feldolgozó program fogadni tudja.

A lineáris és a köralakú fókuszáló áramelektroda elrendezések esetében mért adatokra egy-egy különálló feldolgozó program fejlesztettünk ki, amelyek a mért pole-dipole elrendezéssel kapott adatokból meghatározzák a fókuszálási feltételek teljesüléséhez szükséges áramerősségeket, majd ezek ismeretében a pole-pole elrendezéssel kapott adatokból kiszámítják az adott elrendezéshez tartozó látszólagos fajlagos ellenállás értékeket. A kapott eredményeket olyan formátumban tudjuk tárolni, hogy azokat az egydimenziós inverziót végző szoftverek fogadni tudják.

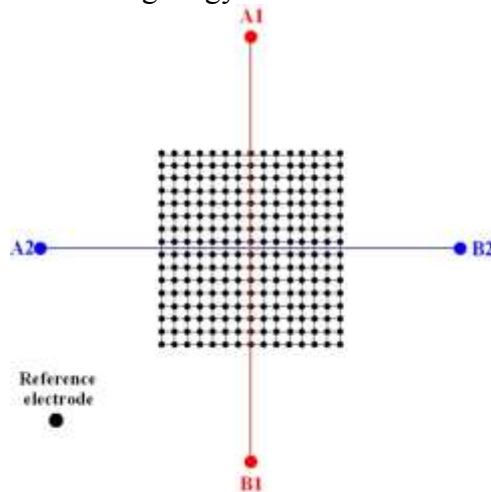
Az inverziót végző szoftverekbe beépítettük az áramfókuszált elrendezésű mérésekhez tartozó direkt-feladat megoldást.

---

## B.II. Leképezési eljárás kifejlesztése sokcsatornás potenciáltérképezés elektróda-konfigurációban végrehajtott mérések adataiból

Sok elektródás geoelektromos mérőberendezésekkel (különösen ha azok még többcsatornásak is) rendkívül sok mérési adatot lehet összegyűjteni viszonylag rövid idő alatt. Ha a mérések több szelvény mentén történnek és a mért adatokat egyszerre akarjuk értelmezni, akkor háromdimenziós értelmezést kell végrehajtani. A hagyományos inverziós eljárások általában rendkívül időigényesek, nagy teljesítményű, gyors, nagy memóriával és tárolókapacitással bíró számítógépekre van szükség az inverziót megvalósító programok futtatásához, ezért nagymennyiségű mérési adat háromdimenziós értelmezéséhez gyorsabb, hatékonyabb eljárásokra is szükség van, még akkor is, ha ezek kissé pontatlanabb, inkább kvalitatív, mint kvantitatív eredményeket szolgáltatnak az altalaj háromdimenziós fajlagos ellenállás-eloszlásáról.

Az 11. ábrán a hagyományos potenciáltérképezés elektródaelrendezése látható. A kutatás szempontjából érdekes területen vannak elhelyezve a mérő(potenciál) elektródák (fekete tele körök), attól elegendően nagy távolságra az áramelektrodák két egymásra merőleges áramdipólus formájában. A potenciálméréshez szükséges referencia-elektroda a mérési terület közelében is elhelyezkedhet. Lényeges, hogy mindkét áramdipólus esetére le legyen mérve minden elektróda potenciálja, numerikus kísérleteink alapján nem feltétlenül szükséges, hogy a két áramdipólus egymásra merőleges és azonos hosszúságú legyen.



11. ábra A potenciáltérképezés elektróda-elrendezése

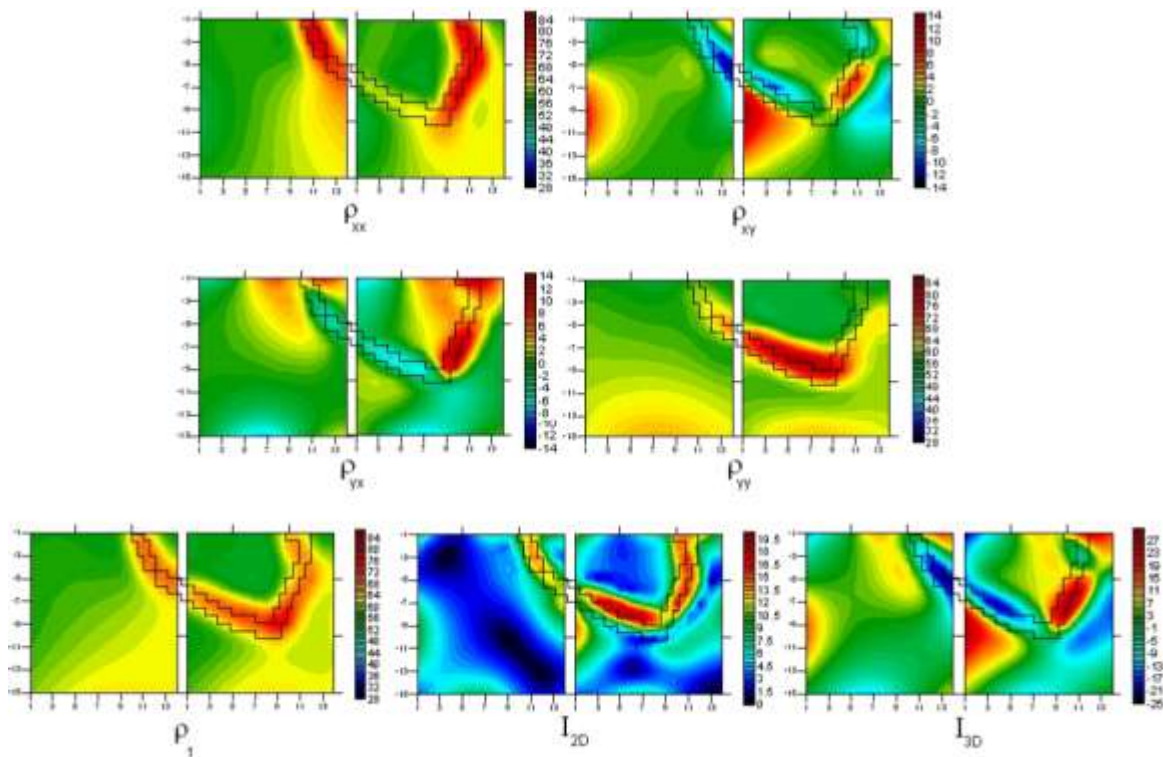
A sokelektrodás potenciáltérképezés módszerét egy régészetileg érdekes és részben ismert területen teszteltük.

- Varga, M., Novák, A., Szarka, L., (2008): Tensorial electrical resistivity mapping and an archeological field application, Near. Surf. Geophys. 2008/1, pp. SCI, impact factor: 0.93

A feldolgozás az impedanciatenzor meghatározásán alapul, a tenzorelemek mellett különböző invariánsok is meghatározásra kerülnek.

Az egyik anomáliát (valószínűleg egy égető kemence) megpróbáltuk numerikusan "lemodellezni" (12. ábra). Ehhez az anomáliát tartalmazó 3 mérési cella területére háromdimenziós numerikus modellezést végeztünk és a számított adatokat ugyanúgy dolgoztuk fel, mint a mért adatokat. A feldolgozás eredményei láthatók a mért potenciál és áramértékekből meghatározott különböző paraméterek térképeinek formájában. A felső sorban az impedanciatenzor négy (xx, xy, yx és yy) komponense, az alsósorban pedig az ún. egy-, két- és háromdimenziós WAL-invariánsok térképe látható. Az ábrából egyértelmű, hogy **ebben az esetben az egydimenziós WAL-invariáns (bal alsó ábra) adja a mért adatok legjobb leképezését.**

Széleskörű két- és háromdimenziós numerikus modellezéseket végeztünk a modellek, a tenzorelemek és az invariánsok kapcsolatának tisztázására.



12. ábra. Ovális alakú inhomogenitás (kemence) 3D modellezéséből kapott paramétertérképek

A fenti eredmények a mért adatok feldolgozásából származnak, kihasználva a mérési elrendezés igen előnyös tulajdonságait. **Inkább kvalitatív mint kvantitatív képet adnak a mérési terület fajlagos ellenállás-eloszlásról és egyáltalán nem adnak felvilágosítást a fajlagos ellenállás mélységszerinti változásáról.** Nagy szükség lenne egy gyors és hatékony kvantitatív értelmezési eljárásra, ehhez többféle vizsgálatot végeztünk.

- A. Novák, M. Varga, S. Szalai, L. Szarka, (2005): Tensorial apparent resistivity mapping and archeological case study. Paper G 018 EAGE Meeting Madrid, 13-18 June, 2005

- Novák, A., Szarka, L., Varga, M., Szalai, S., Pap, Zs., Károlyi, A., (2005): Tensor invariant based electrical potential mapping, and its use in an archeological field study. IAGA WG 1.2 on Electromagnetic Induction in the Earth, Proceedings of the 17<sup>th</sup> Workshop, <http://www.emindia2004.org>

- Novák A. (2005): Elektromágneses leképezés tenzor invariánsokkal: a felszínközeltől a mélyszerkezetig. MGE-MFT előadói kiadványa, Nagykanizsa, 2005. november 25.

- Novák A., Varga M., Szalai S., Szarka L (2005).: Tenzoriális ellenállástérképezés és egy régészeti esettanulmány. MGE előadói kiadványa, Budapest, szept. 13.

- Varga, M., Novák, A., Szarka, L., (2008): Tensorial electrical resistivity mapping and an archeological field application, Near. Surf. Geophys. 2008/1, pp. SCI, impact factor: 0.93

---

#### *Vállalás B.II.1.: Az ellenállás-valószínűség tomográfia elméleti hátterének vizsgálata*

Áttanulmányoztuk a régészeti geofizikai célokra olasz kutatók által kifejlesztett és főleg régészeti geofizikai kutatások során használt ellenállásvalószínűség-tomográfia elméleti alapjait. E módszer nagy előnye, hogy használata során nem kell sokszor megoldani a háromdimenziós direkt-feladatot és az ún. paraméterérzékenység-mátrixot (sensitivity vagy Jacobi-mátrix) is csak egyszer kell előállítani.

Az érzékenységi mátrix számítására kidolgoztunk egy eljárást, amely pole-pole elrendezésre számított adatokból tetszőleges elektróda-elrendezésre is előállítja a Jacobi-mátrixot és potenciáltérképezés vagy más "végtelenbeli" elektródá(kat) tartalmazó elektróda-elrendezések esetén figyelembe lehet venni a távoli elektródák hatását is.

Elkészítettük az ellenállásvalószínűség-tomográfias eljárást megvalósító számítógépes programot. A két- és háromdimenziós direkt feladat véges-differenciás és véges-elemes megoldásán alapuló **saját fejlesztésű** és vásárolt háromdimenziós modellező **programok** által előállított szintetikus adatokat használva a valószínűségi-tomográfias értelmezéshez azt találtuk, hogy **még nagy ellenálláskontrasztal bíró hatók esetén is nagyon kis dinamikával bír a valószínűség-tomográfiaival számított háromdimenziós fajlagos ellenállás-eloszlás, mért adatok esetében pedig a zaj, az alapmodell (background) inhomogenitásai és az általában nem túl nagy ellenálláskontraszt miatt még kisebb felbontást lehet csak remélni.**

---

#### *Vállalás B.II.2.: A legegyszerűbb, leggyorsabb értelmezési eljárás kidolgozása és számítógépes realizálása*

Mivel az ellenállásvalószínűség-tomográfia kis felbontóképességének az egyik kiváltó oka az lehet, hogy az egy egylépcsős (nem-iterációs) eljárás, ezért egy olyan módszert kerestünk, amely viszonylag egyszerű, de mégis iterációs (vagy azzá tehető), nem igényel túl sok direkt-feladat megoldást, és nem kell újraszámolni (legfeljebb javítani kell) az érzékenységi mátrixot az iterációs eljárás során. Egy ilyen módszer az ún. általánosított iterációs visszavetítéses módszer (generalized iterative back-projection method), amelyet régebben kizárólag az orvosi impedancia-tomográfiában (pl. CT) használtak. Az elveiben viszonylag egyszerű módszer egyik továbbfejlesztett változata az olyan valószínűségi szűrést is használó eljárás, ahol a back-projection eljárás során nem azonos súllyal szerepelnek az érzékenységi mátrix elemei (ami

sokszor álanomáliák kialakulásához vezet), hanem nagyobb súlyt kapnak azok az elemek, amelyek esetében az összetartozó cellaellenállások pozitív korrelációban vannak a mérési adatokkal, és kisebbet, amikor ez a korreláció negatív. A back-projection eljárás a valószínűségi szűrőfüggvénnyel transzformált érzékenységi mátrixot használó megoldása egy új iterációs lépésnek tekinthető, és az eljárás folytatható. **Elkészítettük az eljárást megvalósító számítógépes programot**, amely elméleti adatokra történt futtatások során biztató eredményeket adott. Valódi terepi adatokon történő tesztelést a közeljövőben végzünk. A back-projection módszer nagy előnye, hogy többféle (akár tetszőleges) elektróda-elrendezésben mért adatok egyszerre, együttesen értelmezhetők.

---

*Vállalás B.II.3. Az alkalmazott közelítések jogosságának, ill. hatásának vizsgálata numerikus kísérletekkel*

A nem inverziós elveken (pl. Occam- és Marquardt-inverzió) működő többdimenziós értelmezési eljárások esetében a legtöbb időt az érzékenységi mátrix számítása igényel, ezért itt szokás a legtöbb közelítéssel élni. Mivel az alapmodell majdnem minden esetben homogén feltét, ezért az "kiinduló" Jacobi-mátrixot is arra kell meghatározni. **A Jacobi-mátrix számításához szükséges nagyszámú két- vagy háromszoros integrálásokat lehet összegzéssel helyettesíteni. Numerikus kísérleteink alapján elegendően kis cellák és nem túl nagy geometriai távolságok esetében az összegzés használata nem okoz számottevő hibát.**

---

*Vállalás B.II.4. A különböző elrendezések behatoló- és felbontóképességének vizsgálata*

A leggyakrabban használt (pl. Schlumberger, Wenner, dipole-dipole-, pole-pole, stb.) elektróda-elrendezések **behatolási-mélységének** az alkalmazott geometriai távolságoktól való függésére léteznek bizonyos „ököl szabályok”. A **potenciáltérképezésnél** használt elrendezésre azonban nincs általánosan elfogadott becslés. **Numerikus kísérleteink szerint** ebben az esetben a behatolási mélység eléggé modellfüggő és általában **az áramdipól hosszának 6 – 10 százaléka**. Az egyes elektróda-elrendezések **felbontóképességének** vizsgálatára irányuló előremodellezési (forward modeling) **kísérleteink alapján kisméretű inhomogenitásokat vonalas elektróda elrendezések esetében csak kétirányú** (egymásra merőleges szelvények menti) **terítésekkel lehet kimutatni**. Kétdimenziós elektróda-elrendezés (háromdimenziós mérés) és sokelektrodás mérőrendszer esetén természetesen keresztirányú méréseket (pl. diagonális irányú) is lehet és kell végezni, célszerű ehhez többcsatornás műszert használni.

---

*Vállalás B.II.5. Több, különböző fizikai elven működő módszer által szolgáltatott adatok közös értelmezése*

E vizsgálatok arra a célra szolgáltak, hogy megvizsgáljuk, hogy két különböző fizikai elven működő módszer mérési adatainak közös kiértékelése mennyire javítja a modellparaméterek meghatározásának pontosságát, megbízhatóságát. Ehhez módszernek a Schlumberger-elrendezésű egyenáramú szondázást és az alacsony frekvenciás tekercs-tekercs elrendezésű vertikális mágneses dipólus gerjesztésű elektromágneses frekvenciaszondázást választottuk. A vizsgálatokhoz az általánosított inverz módszert használtuk, mert azzal könnyen meghatározhatók az értelmezés (inverzió) minőségét jól jellemző paraméterek (a modell és adat sajátértékek és saját vektorok). A módszert kombináltuk a csonkított szinguláris érték szerinti felbontással (TSVD) amely egyrészt a korreláció és kovariancia mátrixok, másrészt a csonkítás

okozta változások segítségével ad felvilágosítást az egyes modellparaméterek meghatározásának megbízhatóságáról. **Azt találtuk, hogy már néhány elektromágneses mérési adat bevonása a közös inverzióba jelentősen növeli az inverzióval kapott paraméter-értékek megbízhatóságát és "felold" egyes ekvivalenciákat.**

---

#### *Vállalás B.II.6. A lehetséges alkalmazási lehetőségek feltárása*

A nagyfelbontású képességgel bíró potenciáltérképezéshez és más kétdimenziós elektródaelrendezést használó geoelektromos vizsgálatokhoz rengeteg mérésre(és emiatt rengeteg elektródára, kábelre, kapcsolódobozra és többcsatornás mérőberendezésre) van szükség, ezért leginkább **akkor lehet alkalmazni, ha viszonylag kis területen és nem túl mélyen elhelyezkedő kisméretű inhomogenitásokat kell megtalálni.** Ilyen alkalmazási terület elsősorban a **régészet és a például az árvízvédelmi gátak állapot-vizsgálata.** Az utóbbi esetben a veszélyt jelentő repedések, üregek kis méretűek és sztochasztikus eloszlásúak, ezért ott is szükség lenne a nagy horizontális és vertikális felbontóképességre. Ebben az esetben a végtelenben elhelyezendő elektródák sem jelentenek problémát. Alkalmazási lehetőség még a **szennyezett területek lehatárolása, a szennyező források helyének meghatározása és a szennyezés terjedési paramétereinek meghatározása (monitoring),** de ebben az esetben általában nehéz a nagyszámú elektróda megfelelő elhelyezése (épületek, utak, stb. jelenléte miatt). Itt kapcsolódhat a speciális elektróda elrendezés és a nem földelt elektródák használata.

---

### **B.III. Nem földelt elektródákat használó eljárások vizsgálata**

#### *Vállalás B.III.1.:*

A nem földelt elektródákkal végzett méréseket még kevés helyen használják rutinszerűen, bár az utóbbi években már a kereskedelemben is megjelent néhány ilyen mérésekre alkalmas műszer: a legismertebbek a francia gyártmányú CORIM, a kanadai OhmMapper, az orosz ERA nevű berendezés, melyek közül a CORIM és az OhmMapper mozgás közbeni folyamatos mérésekre képes, az ERA a klasszikus elektromos-elektromágneses berendezésekre hasonlít inkább.

Levegőben elhelyezkedő, véges kiterjedésű áram- és potenciálektródákkal egydimenziós elektromos vezetőképességgel bíró altalaj felett végzett mérések modellezésére - főleg francia irodalom alapján - **elkészítettünk egy numerikus eljárást és az azt realizáló számítógépes programot,** amelynek segítségével **elemezhető, hogy mely mérési (pl. frekvencia) és modell (pl. a fajlagos ellenállás és a dielektromos állandó értékek) paraméterek esetén ad új információt a kapacitív elektródákkal végzett mérés a hagyományos egyenáramú mérésekhez képest.** A program a teljes frekvencia tartományban (egyenáram, kvázi-egyenáram, alacsony frekvenciájú kvázi-sztatikus elektromágneses tér, magas frekvenciájú, az eltolódási áramokat is figyelembevevő, általános elektromágneses tér) **képes meghatározni egydimenziós féltér felett az elektromágneses tér paramétereit és az azokból leszámaztatható látszólagos fajlagos ellenállást.**

A nem földelt elektródákat használó módszerek területén mind az elméleti vizsgálatok, mind a gyakorlati alkalmazás tekintetében az orosz nyelvű irodalom a legbősegebb. Shevnin professzor segítségével megszereztük és áttanulmányoztuk az ezen terület alapműveinek számító kézikönyveket (pl. Sapozhnikov és Nehabcev professzor műveit).

*Vállalás B.III.2. A levegőbeli elektromos teret mérő teleszkópantennákkal végzett mérési eljárás 3D numerikus modellezésére szolgáló eljárások kidolgozása*

Publikált eredmények, valamint egydimenziós numerikus modellezési kísérletek alapján egyértelmű, hogy nem szélsőséges mérési (pl. adó-vevő távolság) és földtani (pl. elektromos ellenállás) paraméterek esetében a nem földelt elektródákkal viszonylag alacsony frekvenciákon végzett mérések adatai hagyományos egyenáramú inverziós eljárásokkal értelmezhetők, azaz használhatók a széleskörben elterjedt, nagyon jól kidolgozott “kereskedelmi” két- és háromdimenziós inverziós szoftverek. **Az egyenáramú közelítés jogosságának vizsgálatát több adó- és vevőelektróda típus és elrendezés esetére elvégeztük.**

---

*Vállalás B.III.3. Az ERA műszer működésének megértése*

Az ERA műszert kifejlesztő és gyártó intézet igazgatójával folytatott konzultációk révén meggyőződünk arról, hogy az ERA műszer alkalmazhatósági területe rendkívül széles. Az legjelentősebb alkalmazási lehetőségek az aszfalttal, kavicsal, jéggel, hóval és más elektromosan rosszul vezető anyaggal borított területeken végzett mérések, hiszen itt az egyenáramú (galvanikus csatolást használó) módszerek nem alkalmazhatók, a klasszikus elektromágneses módszerek pedig egyrészt nagyon érzékenyek az elektromágneses zajra, valamint a két- és háromdimenziós modellek felett mért “valódi” elektromágneses adatok nehezen értelmezhetők. Az ERA műszer nagyon előnyös tulajdonsága, hogy többféle gerjesztési és mérési móddal rendelkezik: ellenállásmérésre alkalmas alacsony frekvenciás berendezés, használható frekvenciák: DC, 1.22, 2.44, 4.88, 625, 1250, 2500 Hz; az altalaj gerjesztésére hagyományos elektródák (DC és nagyon alacsony frekvenciák esetében), egyenes földetlenség kábel és földetlenség hurok egyaránt használható; az elektromos teret a talajhoz kapacitív módon csatolt aktív elektródapárral, vagy a levegőben elhelyezett teleszkópos antennával lehet mérni és mágneses antennákat is lehet használni a műszerhez.

---

*Vállalás B.III.4.: B.III.1. és 2. eljárások alkalmazási területeinek (numerikus és terepi) vizsgálata*

Az ígéretes tárgyalások ellenére nem sikerült hozzájutni nem földelt elektródákat használó műszerhez, ezért nem tudtunk kísérleti terepi méréseket végezni. Erre az idei évben valószínűleg sor kerülhet (elsősorban régészeti célú, ill. nem-vezető anyaggal borított területeken szeretnénk kipróbálni a különböző mérési és értelmezési eljárásokat), mivel a team egyik tagja, Varga Mihály nagy valószínűséggel hozzá fog jutni – egy másik pályázat keretében – egy komplett ERA berendezéshez.

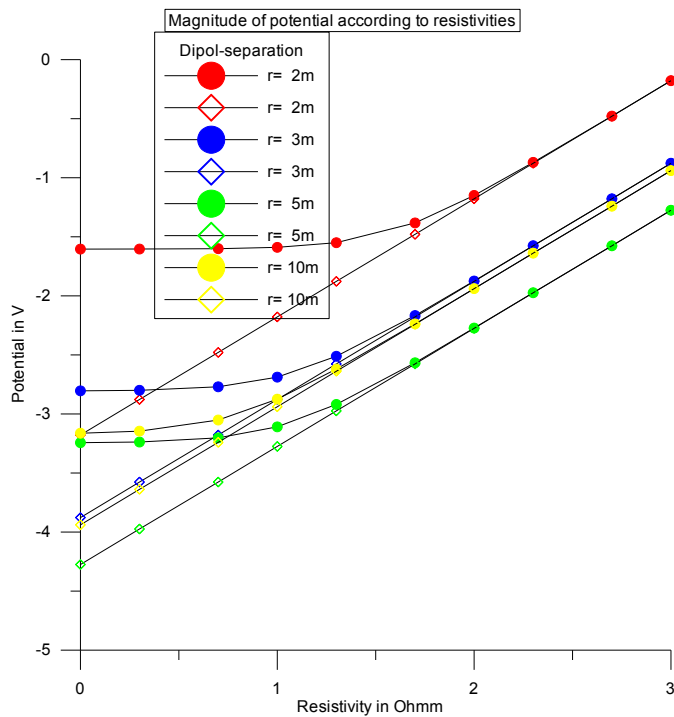
---

*Vállalás B.III.5.: B.III.1. és 2. esetére értelmezési eljárások kifejlesztése*

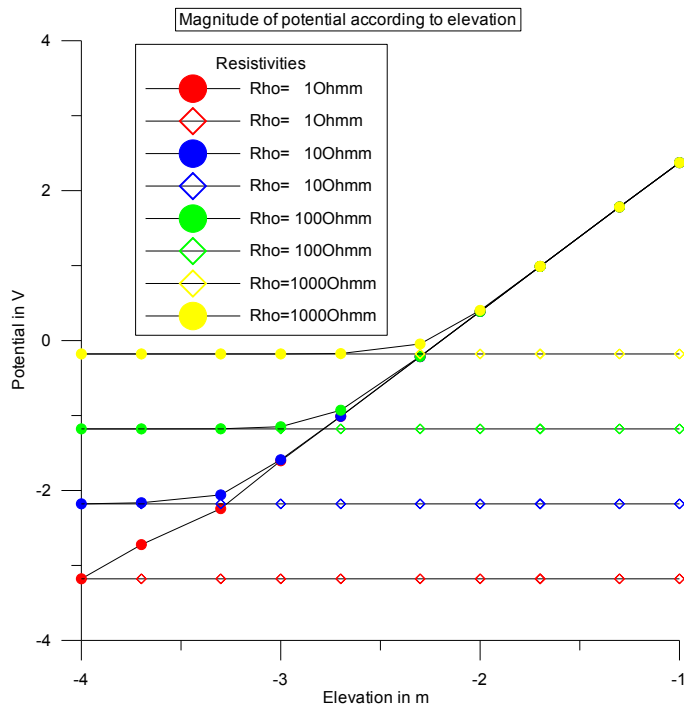
**A különböző gerjesztési és mérési módszerek esetére mind a direkt mind pedig az inverz feladat megoldására fejlesztettünk ki numerikus eljárásokat és az azokat megvalósító számítógépes programokat, ahogy azt a B.III.1 és B.III.2. pontban ismertettük.**

Két érdekes modellezési eredményt mutatunk most csak be, amelyek alátámasztják, hogy egyrészt szükség van arra, hogy a változtatható mérési paraméterek megfelelő megválasztásával “minden szempontból” optimális körülmények között történjenek a mérések, másrészt szükség van arra is, hogy megfelelő analógiákat találjunk a kapacitív elektródákkal történő mérés és a hagyományos módon (pl. egyenáramú- vagy vonalforrásokat használó frekvenciaszondázás) között.





13. ábra. A féltér fajlagos ellenállásának hatása a potenciálra



14. ábra. Az elektródák magasságának hatása a potenciálra

A 13. ábrán azt láthatjuk, hogy homogén féltér esetében hogyan térnek el az elektrosztatikusan és az egyenáramú módszerrel számított potenciálok dipole-dipole elrendezésben. A dipólok hossza 1m, a dipóltávolság 2,3,5 és 10m volt, a használt frekvencia 1000Hz, a féltér fajlagos ellenállása 100 Ohmm volt és a töltések (elektródák) 0.001 méter magasságban voltak elhelyezve. Az ábrán a tele körök az elektrosztatikus esethez, míg az üres rombuszokkal jelzett egyenes vonalak az egyenáramú esethez tartoznak. A tengelyeken szereplő számok 10 hatványkitevői. Látható, hogy nagy fajlagos ellenállás esetében a két különböző módszerrel kapott potenciálok megegyeznek, azaz ekkor jogos lehet az egyenáramú közelítés. Alacsonyabb fajlagos ellenállások esetében az azonos színű görbék a dipóltávolságtól függő

A 14. ábrán a töltések magasságának a hatását láthatjuk. A görbék paramétere a homogén féltér fajlagos ellenállása, a frekvencia itt is 1000Hz, a számításokhoz használt dipóltávolság pedig 2 méter volt. Egyértelmű, hogy a potenciál elektrosztatikus esetben nagyon érzékeny a töltések magasságára, különösen ha alacsony a fajlagos ellenállás (piros görbe). Általános elektromágneses esetben a numerikus modellezés során figyelembe lehet és kell venni a vonalelektródák magasságát is.

## Az OTKA témaköreiben megjelent összefoglaló jellegű publikációink

- Ádám A, Novák A, Szalai S, Szarka L, (2006): Elektromágneses leképezési tapasztalataink, Inverziós Ankét, Miskolc, március 20. (2006), (szóbeli)
- Szarka, L., Vero, J., Kis, K., et al, (2007): Hungarian National report on IAGA 2003-2006. *Acta. Geod. et Geoph. Hung.* 42(2), pp. 169-226. **SCI**
- Szarka, L., Novák, A., Szalai, S., Antal, Á., (2006): Imaging experiences in magnetotellurics and in geoelectrics (Hungary), 17th International Congress and Exhibition of Turkey, 14-17. nov., Ankara, Turkey, 4G-1, (2006)
- Verő, J., Ádám, A., Bencze, P., Bór, J., Koppán, A., Kovács K., Lemperger, I., Martini, D., Marcz, F., Novák, A., Prodán, T., Sántori, G., Szalai S, Szarka L, Wesztergom V., Zieger, B. Földi elektromágnesesség, (2006): Magyar Geofizika 2006. 47/4. pp. 166-169.
- Szarka, L., Ádám, A., Kis, M., Lemperger, I., Novák, A., Szalai, S., Ubránkovics, Cs., Verő, J., Wesztergom, V., Fejes, I., Kiss, J., Madarasi, A., Prácsér, E., Sörös, L., Varga, G., Nagy, Z., Zahoczky, P. (2006): Új irányzatok a magnetotellurikában, Magyar Geofizika, 2006. 47/4, pp. 138-144.
- Szalai S., (2005): Egyenáramú null elrendezések, „PhD eredmények a magyar geofizikában” tudományos előadótalálkozó, Magyar Tudományos Akadémia, MTA Geofizikai Tudományos Bizottság, okt. 28.
- Ádám, A., Bencze, P., Bór, J., Koppán, A., Kovács K., Lemperger, I., Martini, D., Marcz, F., Novák, A., Prodán, T., Sántori, G., Szalai S, Szarka L, Verő, J., Wesztergom V., Zieger, B., Földi elektromágnesesség (OTKA TS 408048, 2002-2004), Geofizika OTKA projektek IV. seregszemléje, ELGI, 2007. jan. 15.

A kapott eredmények közül a már publikáltakat elérhetővé tettük a **WEB-en** is (<http://www.ggki.hu/new/fo.htm>) olyan formában, hogy azok oktatási célokra is hasznosíthatók legyenek.

### Az OTKA-hoz köthető egy még egy **TDK dolgozat**:

- Szokoli, K., Gombás, G., (témavezető Szalai, S.), (2009): Ókeresztény temetőképző kutatása geofizikai módszerekkel (A „szűrőpróba” módszer első régészeti alkalmazása)

Fentiek mellett egy – már **közel befejezett – doktori disszertáció** (Novák A.) és **diploma-dolgozat** (Gombás, G., NYME) is az OTKA-hoz köthető.

**A K049604 számú OTKA kutatói által legfontosabbnak ítélt, az OTKA K049604 keretében támogatott, már megjelent publikációk jegyzéke**

- Szalai S, Szarka L, (2006): Parameter sensitivity maps of surface geoelectric arrays, Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental and Engineering Geophysics (ICEEG), Wuhan, China, June 4-9, 2006 Geophysical Solutions for Environment and Engineering, Volume 1, 260-264 J Wang; Y Xu; J Xia; C Chen editors Science Press USA Inc. (2006), **SCI**
- Szalai S, Szarka L, Révi G, Varga G, (2006): Geoelectric investigation of a pluridirectional fissure system in a karstic area, Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental and Engineering Geophysics (ICEEG), Wuhan, China, June 4-9, 2006 Geophysical Solutions for Environment and Engineering, Volume 1, 287-291. J Wang; Y Xu; J Xia; C Chen editors Science Press USA Inc. (2006), **SCI**
- Szalai, S., Szarka L., (2008): On the classification of surface geoelectric arrays, *Geophysical Prospecting*, 56, pp. 159-175., **SCI, impact factor: 0.731**
- Szalai, S., Koppán, A., Szarka, L., (2008): Effect of positional inaccuracies on multielectrode results, *Acta. Geod. et Geoph. Hung.* 43(1), pp. 33-42., **SCI**
- Szalai, S., Szarka, L., (2008): Parameter sensitivity maps of surface geoelectric arrays I. Linear arrays, *Acta. Geod. et Geoph. Hung.* 43(4), pp. 419-437, DOI: 10.1556/AGeod.43.2008.4.4, **SCI**
- Szalai, S., Szarka, L., (2008): Parameter sensitivity maps of surface geoelectric arrays II. Nonlinear and focussed arrays, *Acta. Geod. et Geoph. Hung.* 43(4), pp. 439-447, DOI: 10.1556/AGeod.43.2008.4.5, **SCI**
- Metwaly, M., El-Qady, G., Matsushima, J., Szalai, S., Al-Arifi, N., S., N., Taha, A., (2008): Contribution of 3-D electrical resistivity tomography for landmines detection, *Nonlin. Processes Geophys.*, 15, pp. 977-986. **SCI, impact factor: 1.314**
- Varga, M., Novák, A., Szarka, L., (2008): Tensorial electrical resistivity mapping and an archeological field application, *Near. Surf. Geophys.* 2008/1, pp. **SCI, impact factor: 0.93**
- Szalai S., Szarka L., Marquis G., Sailhac P., Kaikkonen P., Lahti I. (2005): Colinear null arrays in geoelectrics. IAGA WG 1.2 on Electromagnetic Induction in the Earth, Proceedings of the 17<sup>th</sup> Workshop, <http://www.emindia2004.org>
- Szalai S, Szarka L, (2007): Auxiliary Results of Collection and Classification of Surface Geoelectric Arrays, 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Istanbul A09 (2007)
- Szalai S, Veress M, Novák A, Szarka L, (2008): Application of the simplest geophysical method, the pricking probe method to map bedrock topography in a buried karstic area, *EAEG-Near-surface*, P17, 2008, Kraków, Poland
- Szalai S, Veress M, Novák A, Szarka L, (2006): Geofizikai vizsgálatok fedett karszton (Homód-árok, Bakony), In: Veress Márton (szerk.) *Karsztfeljlődés XI*, Szombathely: Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola, , pp. 153-170.

Alábbiakban még a könnyebb áttekinthetőség kedvéért felsoroljuk a teljes, az OTKA-hoz köthető publikációs listát.

**Összesen** 68 publikációnk, illetve kutatási jelentésünk készült az OTKA pályázat keretében. Ezek közül 10 angol nyelvű tudományos folyóiratban megjelent cikk (Egy még megjelenés alatt. Mind a 10 SCI-s folyóiratban (ugyanis az *Acta Geodaetica et Geophysica* is szerepel már az adatbázisban). Összesített impact faktor: 3.725. 10 angol nyelvű kibővített absztraktot, 6 angol nyelvű rövid absztraktot, 3 magyar nyelvű cikket és 3 kutatási jelentést készítettünk. Eredményeinket mind külföldön, mind Magyarországon, 18-18 előadásban ismertettük.

## Teljes publikációs lista

### Publikációk angolul

#### 2006

1. Szalai S, Szarka L, (2006): Parameter sensitivity maps of surface geoelectric arrays, Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental and Engineering Geophysics (ICEEG), Wuhan, China, June 4-9, 2006 Geophysical Solutions for Environment and Engineering, Volume 1, 260-264 J Wang; Y Xu; J Xia; C Chen editors Science Press USA Inc. (2006), **SCI**

2. Szalai S, Szarka L, Révi G, Varga G, (2006): Geoelectric investigation of a pluridirectional fissure system in a karstic area, Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental and Engineering Geophysics (ICEEG), Wuhan, China, June 4-9, 2006 Geophysical Solutions for Environment and Engineering, Volume 1, 287-291. J Wang; Y Xu; J Xia; C Chen editors Science Press USA Inc. (2006), **SCI**

#### 2007

3. Szarka, L., Verő, J., Kis, K., et al, (2007): Hungarian National report on IAGA 2003-2006. *Acta. Geod. et Geoph. Hung.* 42(2), pp. 169-226. **SCI**

#### 2008

4. Szalai, S., Szarka L., (2008): On the classification of surface geoelectric arrays, *Geophysical Prospecting*, 56, pp. 159-175., **SCI, impact factor: 0.731**

5. Szalai, S., Koppán, A., Szarka, L., (2008): Effect of positional inaccuracies on multielectrode results, *Acta. Geod. et Geoph. Hung.* 43(1), pp. 33-42., **SCI**

6. Szalai, S., Szarka, L., (2008): Parameter sensitivity maps of surface geoelectric arrays I. Linear arrays, *Acta. Geod. et Geoph. Hung.* 43(4), pp. 419-437, DOI: 10.1556/AGeod.43.2008.4.4, **SCI**

7. Szalai, S., Szarka, L., (2008): Parameter sensitivity maps of surface geoelectric arrays II. Nonlinear and focussed arrays, *Acta. Geod. et Geoph. Hung.* 43(4), pp. 439-447, DOI: 10.1556/AGeod.43.2008.4.5, **SCI**

8. Metwaly, M., El-Qady, G., Matsushima, J., Szalai, S., Al-Arifi, N., S., N., Taha, A., (2008): Contribution of 3-D electrical resistivity tomography for landmines detection, *Nonlin. Processes Geophys.*, 15, pp. 977-986. **SCI, impact factor: 1.314**

9. Varga, M., Novák, A., Szarka, L., (2008): Tensorial electrical resistivity mapping and an archeological field application, Near. Surf. Geophys. 2008/1, pp. **SCI, impact factor: 0.93**

## **2009**

10. Szalai, S., Novák, A., Szarka, L., (2009): Depth of investigation and vertical resolution of surface geoelectric arrays, Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 07-052R2 (in print), **SCI, impact factor: 0.75**

## **Konferencia extended abstract-ok**

## **2005**

11. A. Novák, M. Varga, S. Szalai, L. Szarka, (2005): Tensorial apparent resistivity mapping and and archological case study. Paper G 018 EAGE Meeting Madrid, 13-18 June, 2005

12. Szalai S., Szarka L., Révi G., Varga M., (2005): Geoelectric investigation of a multidirectional fissure system in a karstic area. P047 Near Surface 2005, Palermo, 4-7 September 2005

13. Szalai S., Szarka L., Marquis G., Sailhac P., Kaikkonen P., Lahti I. (2005): Colinear null arrays in geoelectrics. IAGA WG 1.2 on Electromagnetic Induction in the Earth, Proceedings of the 17<sup>th</sup> Workshop, <http://www.emindia2004.org>

14. Novák, A., Szarka, L., Varga, M., Szalai, S., Pap, Zs., Károlyi, A., (2005): Tensor invariant based electrical potential mapping, and its use in an archological field study. IAGA WG 1.2 on Electromagnetic Induction in the Earth, Proceedings of the 17<sup>th</sup> Workshop, <http://www.emindia2004.org>

## **2006**

15. Novák A, Szalai S, Szarka L, (2006): Target detectability depths of DC arrays for various models, Extended Abstracts of the Near Surface 2006, Helsinki, Sept. 4-6, 2006 EAGE (2006)

## **2007**

16. Szalai, S, Koppán A, Szarka L, (2007): Effect of Positional Inaccuracies on Multielectrode Results, 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Istanbul P28 (2007)

17. Szalai S, Novák A, Szarka L, (2007): Depth of Investigation of Dipole-dipole, Noncolinear and Focused Geoelectric Arrays, 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Istanbul P26 (2007)

18. Szalai S, Szarka L, (2007): Classification of Surface Geoelectric Arrays, London 2007, 69th EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2007

19. Szalai S, Szarka L, (2007): Auxiliary Results of Collection and Classification of Surface Geoelectric Arrays, 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Istanbul A09 (2007)

## **2008**

20. Szalai S, Veress M, Novák A, Szarka L, (2008): Application of the simplest geophysical method, the pricking probe method to map bedrock topography in a buried karstic area, EAEG-Near-surface, P17, 2008, Kraków, Poland

## **Rövid konferencia absztrakt-ok**

## **2005**

21. Szalai S., Szarka L., Révi G., Varga M. 2005: Geoelectric investigation of a multidirectional fissure system in a karstic area. EGU-05-A-01031, Geophysical Research Abstracts, Vol. 7.

22. Szalai S., Szarka L., Marquis G., Sailhac P., Kaikkonen P., Lahti I. (2005): Collinear null arrays in geoelectrics. EGU-05-A-01044, Geophysical Research Abstracts, Vol. 7.

## **2006**

23. Szalai S, Szarka L, (2006): Parameter sensitivity maps of geoelectric methods, Abstract book of the 18th EMIW, El Vendrell, September 2006

24. Szalai S, Szarka L, Révi G, Varga M, (2006): DC geoelectrics over a pluridirectional fissure system in a karstic area, Abstracts of the 18th EM Induction Workshop, El Vendrell

## **2007**

25. Szalai, S., Szarka, L., Varga, M., (2007): Geoelectric investigation of pluridirectional fissure system in a karstic area, 2007, IUGG Conference, 2007 Perugia, Session ASI011

26. Szalai S, Veress M, Novák A, Szarka L, (2007): Bedrock topography in a buried karstic area by applying multielectrode measurements completed with "pricking probe", AGU Fall Meeting, San Francisco, 2007 Eos Trans. AGU, 88(52), Fall Meet. Suppl., Abstract NS11D-0788, *OTKA*

## **Előadások**

## **Külföldi előadások**

## **2005**

27. Szalai S., Szarka L., Révi G., Varga M. 2005: Geoelectric investigation of a multidirectional fissure system in a karstic area. EGU-05-A-01031, Bécs

28. Szalai S., Szarka L., Marquis G., Sailhac P., Kaikkonen P., Lahti I. 2005: Collinear null arrays in geophysics. EGU-05-A-01044, Bécs

29. A. Novák, M. Varga, S. Szalai, L. Szarka, (2005): Tensorial apparent resistivity mapping and an archaeological case study. Paper G 018 presented at the EAGE Meeting Madrid, 13-18 June,

30. Szalai S., Szarka L., Révi G., Varga M, (2005): Geoelectric investigation of a multidirectional fissure system in a karstic area. P047 EAGE Near Surface 2005, Palermo, 4-7 September 2005

## **2006**

31. Szalai, S., Szarka, L., Révi, G., Varga, M. , (2006): Geoelectric investigation of a pluridirectional fissure system in a karstic area, ICEEG, Wuhan, Kina
32. Szalai, S., Szarka L., (2006): Parameter sensitivity maps of surface geoelectric, ICEEG, Wuhan, Kina
33. Szalai, S., Szarka, L., Révi, G., Varga, M. (2006): DC geoelectrics over a pluridirectional fissure system in a karstic area, 18th EM Induction Workshop, El-Vendrell, Spain
34. Szalai, S., Szarka, L. , (2006): Parameter sensitivity maps of geoelectric methods, 18th EM Induction Workshop, El-Vendrell, Spain
35. Novák A., Szalai S., Szarka L., (2006): Target detectability depths of DC arrays for various models, EAGE Near.surface Conference, Helsinki
36. Szarka, L., Novák, A., Szalai, S., Antal, Á., (2006): Imaging experiences in magnetotellurics and in geoelectrics (Hungary), 17th International Congress and Exhibition of Turkey, 14-17. nov., Ankara, Turkey, 4G-1, (2006)

## **2007**

37. Szalai, S, Koppán A, Szarka L., (2007): Effect of Positional Inaccuracies on Multielectrode Results 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Istanbul P28
38. Szalai S, Novák A, Szarka L., (2007): Depth of Investigation of Dipole-dipole, Noncolinear and Focused Geoelectric Arrays, 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Istanbul P26
39. Szalai S, Szarka L., (2007): Auxiliary Results of Collection and Classification of Surface Geoelectric Arrays, 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Istanbul A09
40. Szalai S, Szarka L., (2007): Classification of Surface Geoelectric Arrays, London 2007, 69th EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2007
41. Szalai S, Veress M, Novák A, Szarka L, (2007): Bedrock topography in a buried karstic area by applying multielectrode measurements completed with "pricking probe", AGU Fall Meeting, San Francisco, 2007 Eos Trans. AGU, 88(52), Fall Meet. Suppl., Abstract NS11D-0788
42. Szalai, S., Szarka, L., Varga, M., 2007  
Geoelectric investigation of pluridirectional fissure system in a karstic area, 2007 IUGG Conference, 2007 Perugia, Session ASI011
43. Szalai S, Szarka L, (2007): Classification of Surface Geoelectric Arrays, London 2007, 69th EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2007 (2007)

## **2008**

44. Szalai S, Veress M, Novák A, Szarka L, (2008): Application of the simplest geophysical method, the pricking probe method to map bedrock topography in a buried karstic area , EAEG-Near-surface, P17, 2008, Kraków, Poland

## **Magyar nyelvű publikációk**

## **2006**

45. Szalai S, Veress M, Novák A, Szarka L, (2006): Geofizikai vizsgálatok fedett karszton (Homód-árok, Bakony), In: Veress Márton (szerk.) Karsztfelődés XI, Szombathely: Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola, , pp. 153-170.

46. Verő, J., Ádám, A., Bencze, P., Bór, J., Koppán, A., Kovács K., Lemperger, I., Martini, D., Marcz, F., Novák, A., Prodán, T., Satori, G., Szalai S, Szarka L, Wesztergom V., Zieger, B. Földi elektromágnesesség, (2006): Magyar Geofizika 2006. 47/4. pp. 166-169.

47. Szarka, L., Ádám, A., Kis, M., Lemperger, I., Novák, A., Szalai, S., Ubránkovics, Cs., Verő, J., Wesztergom, V., Fejes, I., Kiss, J., Madarasi, A., Prácer, E., Sörös, L., Varga, G., Nagy, Z., Zahoczky, P. (2006): Új irányzatok a magnetotellurikában, Magyar Geofizika, 2006. 47/4, pp. 138-144.

## **Belföldi előadások**

## **2005**

48. Révi Géza, Varga Mihály, Szalai Sándor, (2005): Többirányú repedésrendszer kutatása karszterületen. „XII. Konferencia a felszín alatti vizekről”, Balatonfüred, márc. 30-31.

49. Novák A., Varga M., Szalai S., Szarka L (2005): Tenzoriális ellenállástérképezés és egy régészeti esettanulmány. MGE előadókülés, Budapest, szept. 13.

50. Szalai S., (2005): Egyenáramú null elrendezések, „PhD eredmények a magyar geofizikában” tudományos előadókülés, Magyar Tudományos Akadémia, MTA Geofizikai Tudományos Bizottság, okt. 28.

51. Szalai Sándor, Varga Mihály, Révi Géza, Szarka László, (2005): Geoelektromos mérések mészkőaljat többirányú repedezettségének feltérképezésére. MGE (magyar EAGE-csoport) előadókülsé, Budapest, nov. 17.

52. Novák A. (2005): Elektromágneses leképezés tenzor invariánsokkal: a felszínközeltől a mélyszerkezetig. MGE-MFT előadókülés kiadványa, Nagykanizsa, 2005. november 25.

## **2006**

53. Szalai, S., Veress, M., Novák, A., Szarka, L.(2006):Geofizikai mérések fedett karszton (Homód-árok, Bakony), IX. Karsztfelődés Konferencia



54. Ádám A, Novák A, Szalai S, Szarka L, (2006): Elektromágneses leképezési tapasztalataink, Inverziós Ankét, Miskolc, március 20. (2006), (szóbeli)

55. Novák, A., Szalai, S., Szarka, L. (2006): Egyenáramú elrendezések mélységdetektálása különböző modellekre, EAGE magyar csoportjának előadói napja, okt. 26. ELGI, (2006)

## **2007**

56. Ádám, A., Bencze, P., Bór, J., Koppán, A., Kovács K., Lemperger, I., Martini, D., Marcz, F., Novák, A., Prodán, T., Sántori, G., Szalai S, Szarka L, Verő, J., Wessztergom V., Zieger, B. Földi elektromágnesesség (OTKA TS 408048, 2002-2004)  
Geofizika OTKA projektek IV. seregszemléje, ELGI, 2007. jan. 15.

57. Szarka, L., Fejes, I., Kiss, J., Madarasi, A., Prácser, E., Sörös, L., Varga, G., (ELGI), Ádám, A., Koppán, A., Novák, A., Szalai, S., Ubránkovics, Cs., Verő, J., Wessztergom, V. (MTA GGKI) Új irányzatok a magnetotellurikában – T37694 (2002-2005)  
Geofizika OTKA projektek IV. seregszemléje, ELGI, 2007. jan. 15.

58. Szalai, S., Novák, A., Szarka, L., 2007  
Egyenáramú elrendezések kutatási mélység vizsgálatai  
50 éves a nagycenki Széchenyi Obszervatórium emlékűnnepség

59. Szalai, S., Szarka, L., 2007  
Párhuzamos repedésrendszerek kutatása geoelektromos null elrendezésekkel  
50 éves a nagycenki Széchenyi Obszervatórium emlékűnnepség

60. Szalai, S., Varga, M., Révi, G., Szarka, L., 2007  
Többirányú repedésrendszer feltérképezése  
50 éves a nagycenki Széchenyi Obszervatórium emlékűnnepség

61. Wessztergom V., Ádám, A., Bencze, P., Bór, J., Koppán, A., Kovács K., Lemperger, I., Martini, D., Marcz, F., Novák, A., Prodán, T., Sántori, G., Szalai S, Szarka L, Verő, J., Ziegler, B. Földi elektromágnesesség 1957-2007, poszter  
A Magyarhoni Földtani Társulat Vándorgyűlése, Sopron, 2007

62. Szalai S, Veress M, Novák A, Szarka L, (2007)  
Investigations of the bedrock topography in the Harskut basin, Széchenyi István Emléknep, 2008.10.31.

63. Szalai S, Novák A, Szarka L, (2007)  
D. C. detectability investigations, Széchenyi István Emléknep, 2008.10.31.

## **2008**

64. Szalai S., Novák A., Szarka L.: Geoelektromos elrendezések kutatási mélysége és vertikális felbontóképessége, és szerepük a sokelektrodás mérési adatok inverziójában, Inverziós Ankét 2008., Miskolc

65. Újvári, G., Bányai, L., Mentés, Gy., Gyimóthy, A., Szalai, S., Novák, A., Papp, G., Holler, I., Rokob, K., Eperné, P., I., (2008): A dunaszekcsői földcsuszamlás „anatómiája” és mozgásviszonyai geodéziai és geofizikai mérések alapján, Pannon Tudományos Napok, 2008, Nagykanizsa

### **Kutatási jelentések**

66. Szalai, S., Novák, A., 2005. Jelentés a Homód-árok területén végzett geofizikai mérésekről, a Berzsenyi Dániel Főiskola Természetföldrajzi Tanszékének megbízásából, 2005. okt. 21.

67. Szalai, S., Novák, A., 2005. Kísérlet a Homód-árok területén mért geofizikai adatok értelmezésére, Jelentéskiegészítés a Berzsenyi Dániel Főiskola Természetföldrajzi Tanszékének megbízásából, 2005. okt. 21.

68. Varga, M., (2006): Pusztazámori Hulladéklerakó: a hulladékkal fedett terület vizsgálata geoelektromos mérésekkel, 2006. szeptember, készült a Telekes Kft. megbízásából